Pacific Consultants

地域循環共生圏モデルの提案

この講演は、弊社が環境省から受託した関連業務の実施内容に基づきますが、一部に講演者の私見並びに講演者及び弊社の著作物を含む場合があります。

パシフィックコンサルタンツ株式会社
（PCKK）環境・エネルギー部

井伊　亮太
（技術士（環境部門、衛生工学部門））

PRODUCING THE FUTURE

Pacific Consultants
Producing The Future™

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

本日の報告内容

1. 経緯
2. 提案モデル全般の趣旨、背景、方向性、作成手順
3. 提案モデルを構成するサブモデル毎の説明
4. サブモデル間で共通的な視点・要素
5. 実現に向けて

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

1． 経緯

環境省委託事業

✓ 廃棄物系バイオマスの利活用に向けた自治体関係者等の手引きとなるマニュアル

2013～2016
廃棄物系バイオマス利活用導入促進事業

✓ 中小廃棄物処理における資源・エネルギー回収促進方策（メタン化等）を活用した地域循環共生圏のモデルを提案

立地等の分析とモデル案作成（2019～）

2017～2020
中小廃棄物処理を通した資源循環・エネルギー回収促進方策モデル調査検討事業

熱供給
事例調査等

2013～2015
廃棄物発電高度化支援事業

✓ 廃棄物エネルギー利用高度化マニュアル：高度化方策の多数のメニューについて、概要、導入効果（先行事例等）、留意点を紹介等

モデル地域検討
「実務入門」作成

2016～2018
廃棄物エネルギー利活用計画策定検討調査

✓ 廃棄物エネルギー利活用計画策定指針
✓ 廃棄物エネルギー利活用方策の実務入門

全市町村の一般廃棄物処理システムの温室効果ガス排出量の試算

2018～2020
廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO_2対策普及促進事業

PCKKの主な作業内容例

内外の動向

2015.9 国連サミット(2030アジェンダ)

SDGs

2015.12 パリ協定

脱炭素

地域で実現

地域循環共生圏

●**第５次環境基本計画**（2018.4）

●菅総理**所信表明**（2020.10）

●パリ協定**長期戦略**（2019.6）

●**地球温暖化対策計画**（2016.5）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

2．提案モデル（継続更新中　※本日検討会でも御議論）

※1　2050年に向けた、将来の理想的な姿を具体的イメージで提案。現時点では未実現の要素もある。

※2　５つのサブモデルの地域と行政区域は一対一とは限らない。

※3　サブモデル毎の取組や要素は例示。必須でも限定でもない。

凡例

- ：熱
- ：電気
- ：資源
- ：ファイナンス
- ：技術
- ：効果
- ：取組・ビジネス

※斜体文字は、地域循環共生圏曼荼羅及び革新的環境イノベーション戦略からの引用

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

提案モデルへの御意見

○

■欲しい要素が割と何かしら入っているので良い（網羅的）

■これはこれで一旦良いとして、どうやって実現するのか？の議論が重要

■ただし、カーボンニュートラル（又は温室効果ガス排出実質ゼロ）となると、見直しが（一部？）必要。

×

■取り組む（実現する）のが難しそう。

⊘

■これは何なのか？よく分からない。

↓

<u>なぜ分かりにくいのか？</u>

↓

■この絵の位置付け・性格は？

■情報量が多い（ように見える）。

■なぜ、こういう提案内容なのか？

■今できること、できないことは？

■（2050年について非確定的）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

提案するモデルの性格（基本的なスタンス）

■「今できること、できないこと」の混在

技術的には「今できるはずのこと」が中心
（できるだけ経済的にも有利で有り得ること）
なお、到来していない状況を前提とした要素もある。

技術的合理性（原理原則に基づく効率性）の重視

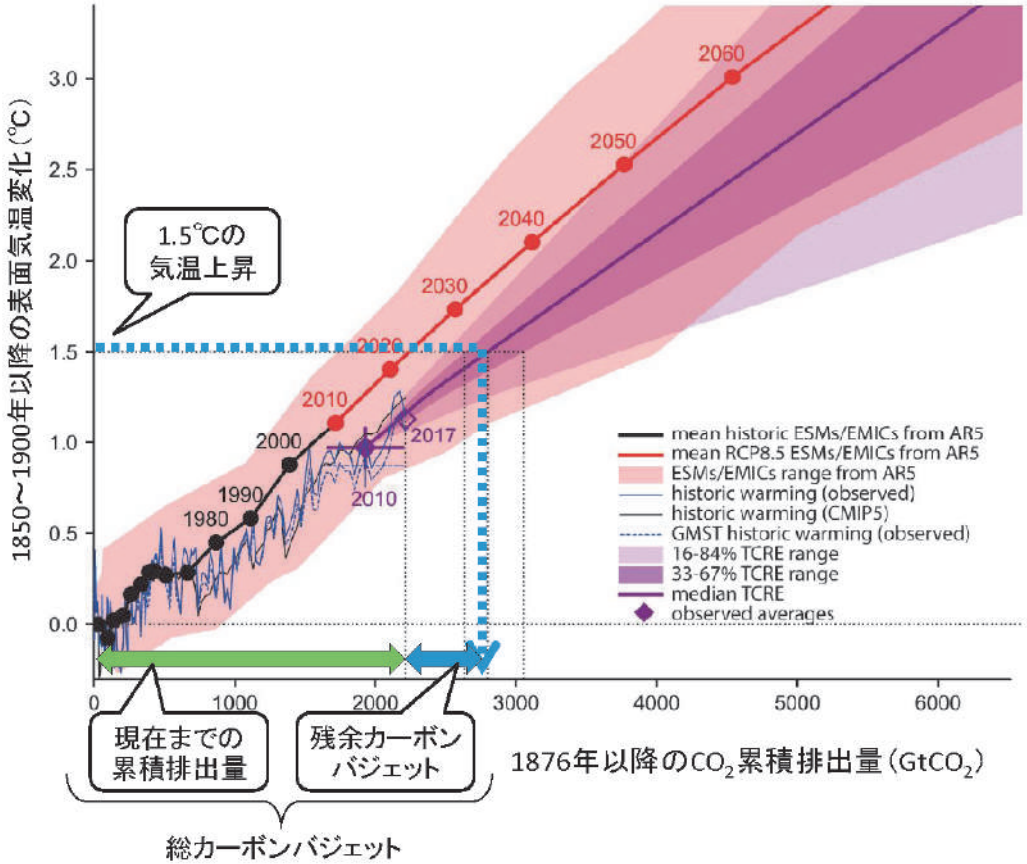
＋

脱炭素化の観点から、現時点では技術的・経済的に
「全国一斉に実際に今すぐ実現とはいいづらい」要素も
一部含めた。（端的には水素を利用したCCUなど）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

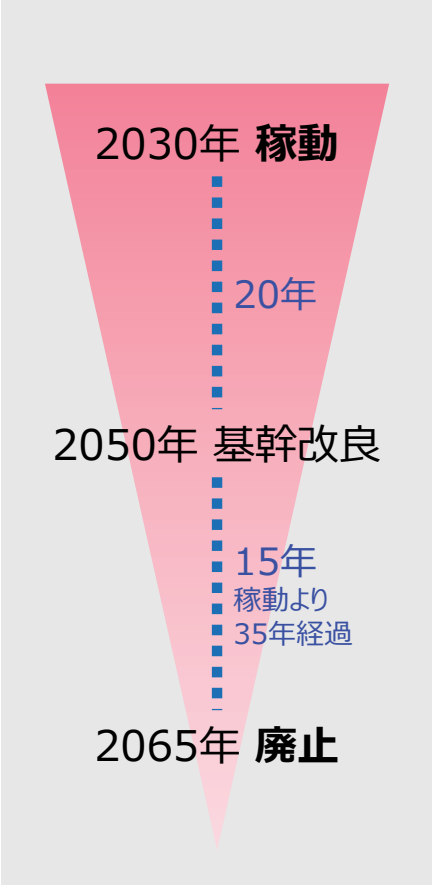
脱炭素化は今から：カーボンバジェット（炭素予算）とロックイン

●気温上昇量は累積CO_2排出量に比例
⇒2050年に突然ゼロにするのでは遅い。



左図の出典　http://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/ar6_sr1.5_overview_presentation.pdf　より

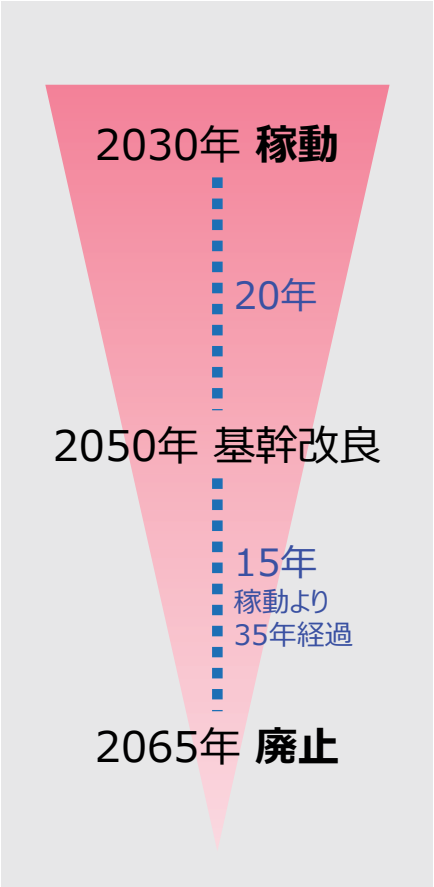
処理施設の稼働期間
（イメージ）



Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

今後整備されるごみ処理施設が向き合う未来のエネルギーシステム

施設の稼働期間
（イメージ）



2030年目標　温室効果ガス 26%削減

2050年目標　温室効果ガス ~~80%削減~~　実質ゼロ

■省エネルギー
- 人口減少・需要構造転換
- 量的損失削減（断熱）
- 質的損失削減（脱燃焼）

■再生可能エネルギー（炭素集約度の低下）
- 大量導入
- ↓
- 太陽光・風力（変動）

■ CO2の回収・分離
↓
貯留
又は利用

化石燃料の燃焼の回避（電化）

ごみの焼却 ⇒貴重な熱源

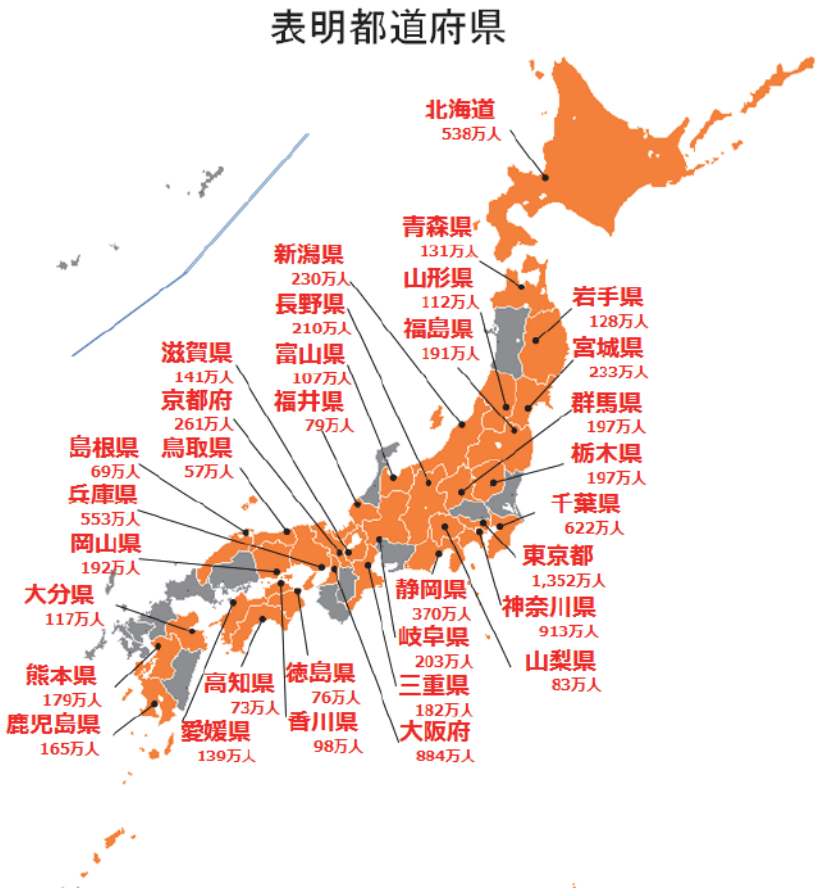
電力中心のエネルギーシステムの柔軟化

資源循環分野も貢献可能

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

ゼロカーボンシティ：二酸化炭素排出実質ゼロ表明（2021.2.25時点）

一般廃棄物処理は市区町村の事務事業＝取り組みやすい分野



表明市区町村

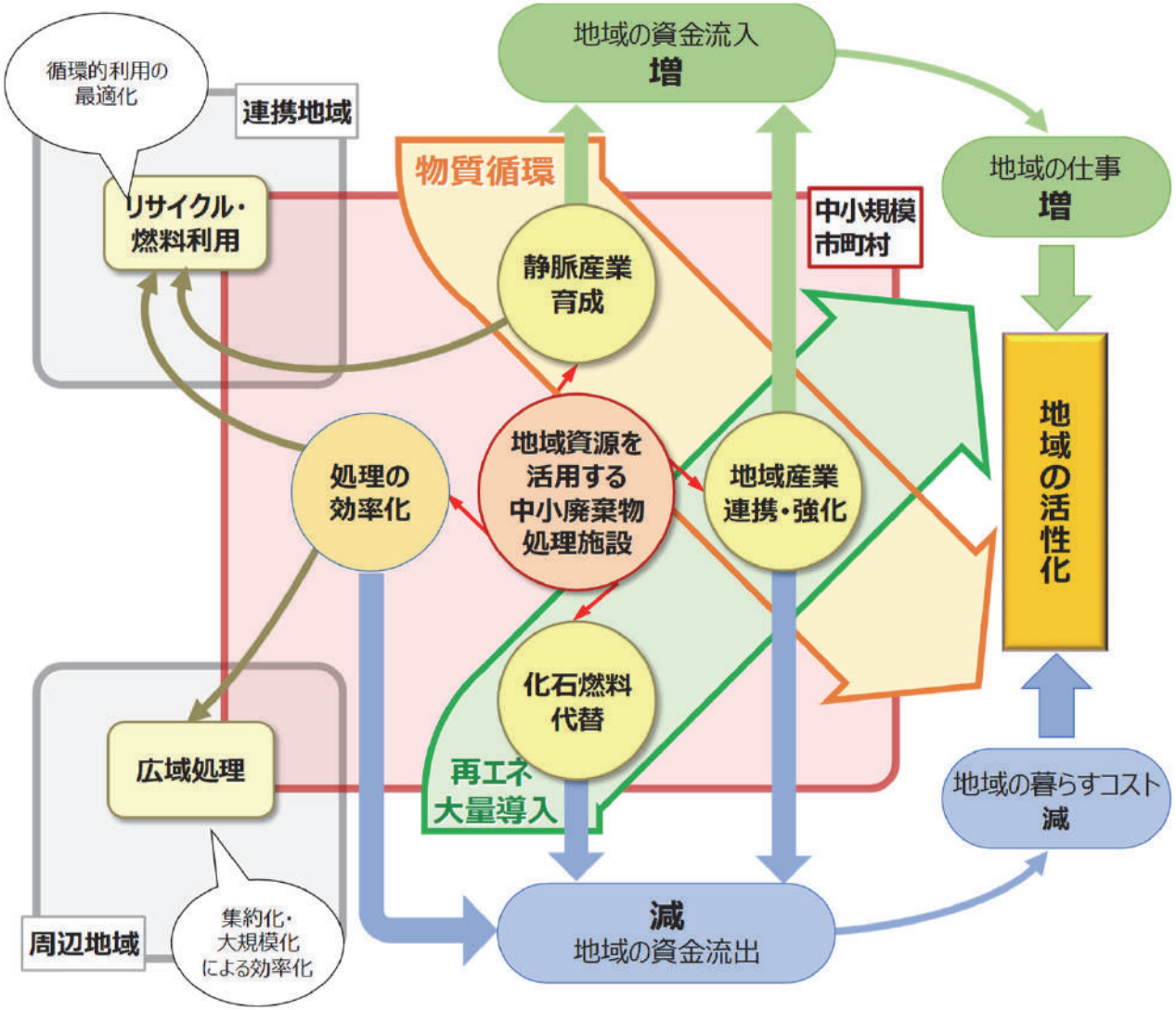
北海道	山形県	群馬県	茨城県	千葉県	富山県	長野県	滋賀県	島根県	長崎県
札幌市	山形市	太田市	常陸大宮市	千葉市	魚津市	松本市	湖南市	松江市	平戸市
石狩市	米沢市	館林市	那珂市	銚子市	南砺市	上田市	京都府	岡山県	五島市
二セコ町	東根市	藤岡市	筑西市	木更津市	立山町	小諸市	京都市	岡山市	佐賀県
古平町	南陽市	上野村	坂東市	野田市	石川県	佐久市	宮津市	津山市	佐賀市
岩手県	朝日町	神流町	桜川市	成田市	金沢市	東御市	亀岡市	玉野市	武雄市
久慈市	高畠町	嬬恋村	つくばみらい市	八千代市	加賀市	軽井沢町	京田辺市	総社市	熊本県
二戸市	川西町	みなかみ町	小美玉市	山武市	山梨県	立科町	京丹後市	備前市	熊本市
葛巻町	飯豊町	大泉町	茨城町	我孫子市	甲府市	南箕輪村	大山崎町	瀬戸内市	菊池市
普代村	庄内町	茨城県	城里町	浦安市	富士吉田市	池田町	与謝野町	赤磐市	宇土市
軽米町	福島県	水戸市	東海村	四街道市	都留市	白馬村	大阪府	真庭市	宇城市
野田村	福島市	土浦市	五霞町	東京都	山梨市	小谷村	大阪市	和気町	阿蘇市
九戸村	郡山市	古河市	境町	世田谷区	大月市	岐阜県	豊中市	早島町	合志市
洋野町	大熊町	結城市	埼玉県	豊島区	韮崎市	大垣市	吹田市	久米南町	美里町
一戸町	浪江町	下妻市	さいたま市	葛飾区	南アルプス市	静岡県	泉大津市	美咲町	玉東町
八幡平市	栃木県	常総市	秩父市	武蔵野市	北杜市	静岡市	枚方市	吉備中央町	大津町
宮古市	鹿沼市	高萩市	所沢市	多摩市	甲斐市	浜松市	高石市	広島県	菊陽町
一関市	大田原市	北茨城市	飯能市	神奈川県	笛吹市	富士宮市	東大阪市	広島市	高森町
宮城県	那須塩原市	取手市	狭山市	横浜市	上野原市	藤枝市	阪南市	尾道市	西原村
気仙沼市	那須烏山市	牛久市	深谷市	川崎市	甲州市	御殿場市	兵庫県	香川県	南阿蘇村
富谷市	那須町	鹿嶋市	入間市	相模原市	中央市	御前崎市	神戸市	高松市	御船町
秋田県	那珂川町	潮来市	日高市	横須賀市	市川三郷町	牧之原市	姫路市	善通寺市	嘉島町
大館市		守谷市	小川町	鎌倉市	早川町	愛知県	明石市	愛媛県	益城町
				藤沢市	身延町	岡崎市	西宮市	松山市	甲佐町
				小田原市	南部町	半田市	奈良県	福岡県	山都町
				三浦市	富士川町	豊田市	生駒市	北九州市	宮崎県
				厚木市	昭和町	大府市	和歌山県	福岡市	串間市
				開成町	道志村	田原市	那智勝浦町	久留米市	鹿児島県
				新潟県	西桂町	みよし市	鳥取県	大野城市	鹿児島市
				新潟市	忍野村	武豊町	鳥取市	大木町	知名町
				柏崎市	山中湖村	三重県	米子市		沖縄県
				佐渡市	鳴沢村	志摩市	境港市		久米島町
				粟島浦村	富士河口湖町	南伊勢町	北栄町		
				妙高市	小菅村		南部町		
				十日町市	丹波山村				

＊朱書きは表明都道府県、その他の色書きはそれぞれ共同表明団体

表明地方公共団体の図表の出典　https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

目指すべき方向性（一般廃棄物処理からの地域循環共生圏形成への視点）



地域循環共生圏の創造による持続可能な地域づくりについて

地域課題ニーズ × 地域資源固有価値 × 相互連携パートナーシップ

↓

新たな価値創造 ＋ 地域経済循環 地域ビジネス促進

出典：中部地方環境事務所第17回地球温暖化に関する中部カンファレンス資料（2019年10月３日）（環境省大臣官房環境計画課）

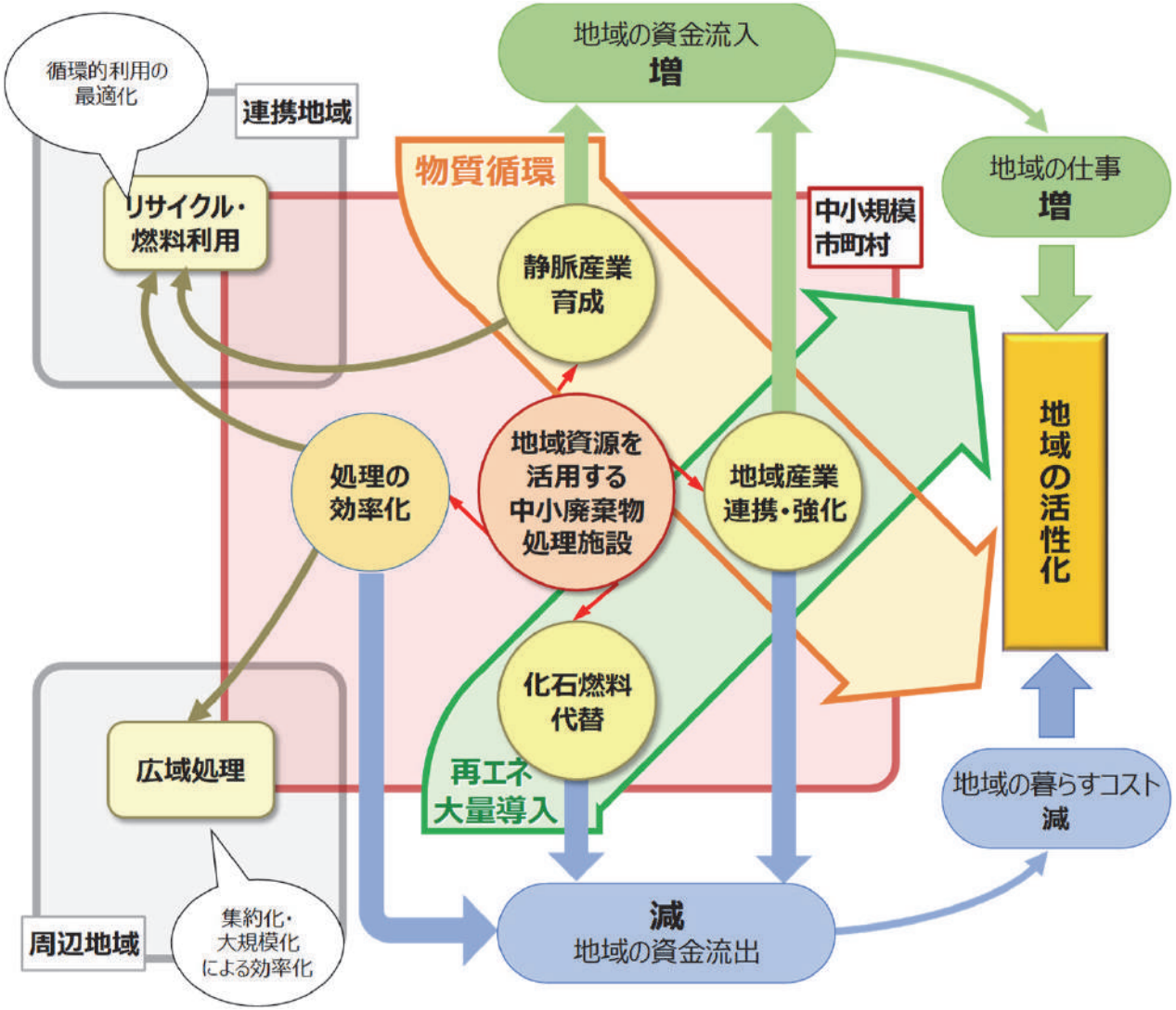
地域循環共生圏 -循環分野における取組パターン

- 広域化
- 地域課題の解決
- 統合管理・一体的処理
- 動静脈連携
- 地域資源・既存施設の活用
- 新規ビジネス

出典：地域循環共生圏（循環分野）形成に向けて（パンフレット）（平成30年10月、環境省環境再生・資源循環局総務課リサイクル推進室）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

目指すべき方向性（一般廃棄物処理からの地域循環共生圏形成への視点）



色々と余計なことをして
コストを増やすというつもり
ではありません。

地域に経済的メリットを生
みつつ、効率的に処理する
体制の追及が基本です。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

提案モデルの作成手順

立地からみた地域の
類型化・特性の分析

地域産業

地域資源

地域産業

×

関連して想定される
地域資源・固有価値

先進事例の再抽出・調査

※ヒアリング調査等で補足

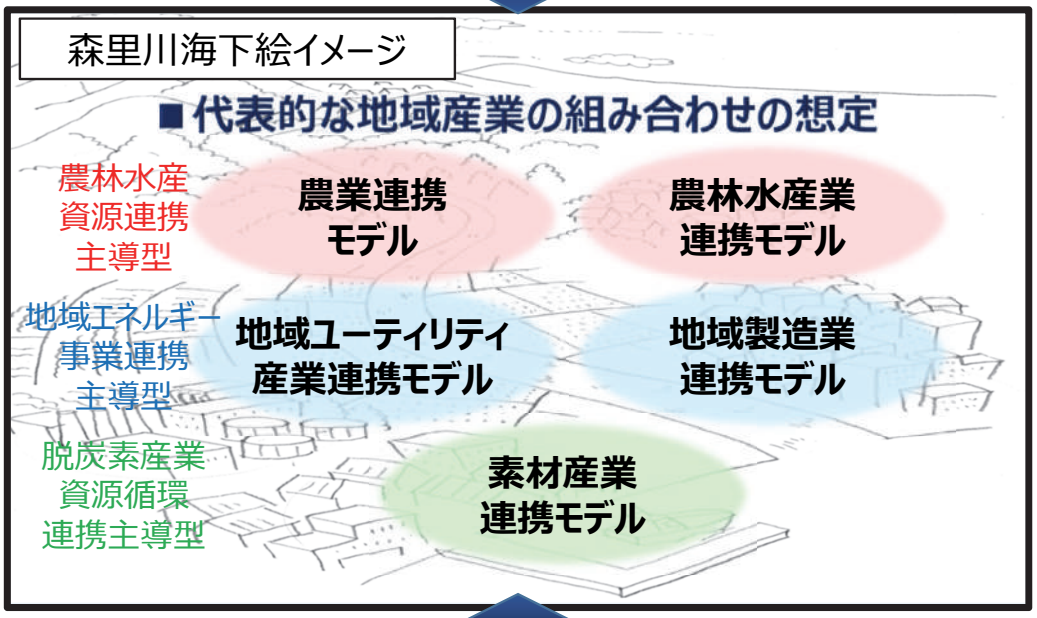
**地域産業と処理方式の
組み合わせの適合性**

一般廃棄物の処理方式
（特性＝強味・弱み）

将来（2050年）の温室効果ガス大幅削減の社会像
（中央環境審議会**「長期低炭素ビジョン」**を主に参考）

天然資源から再生可能資源への転換

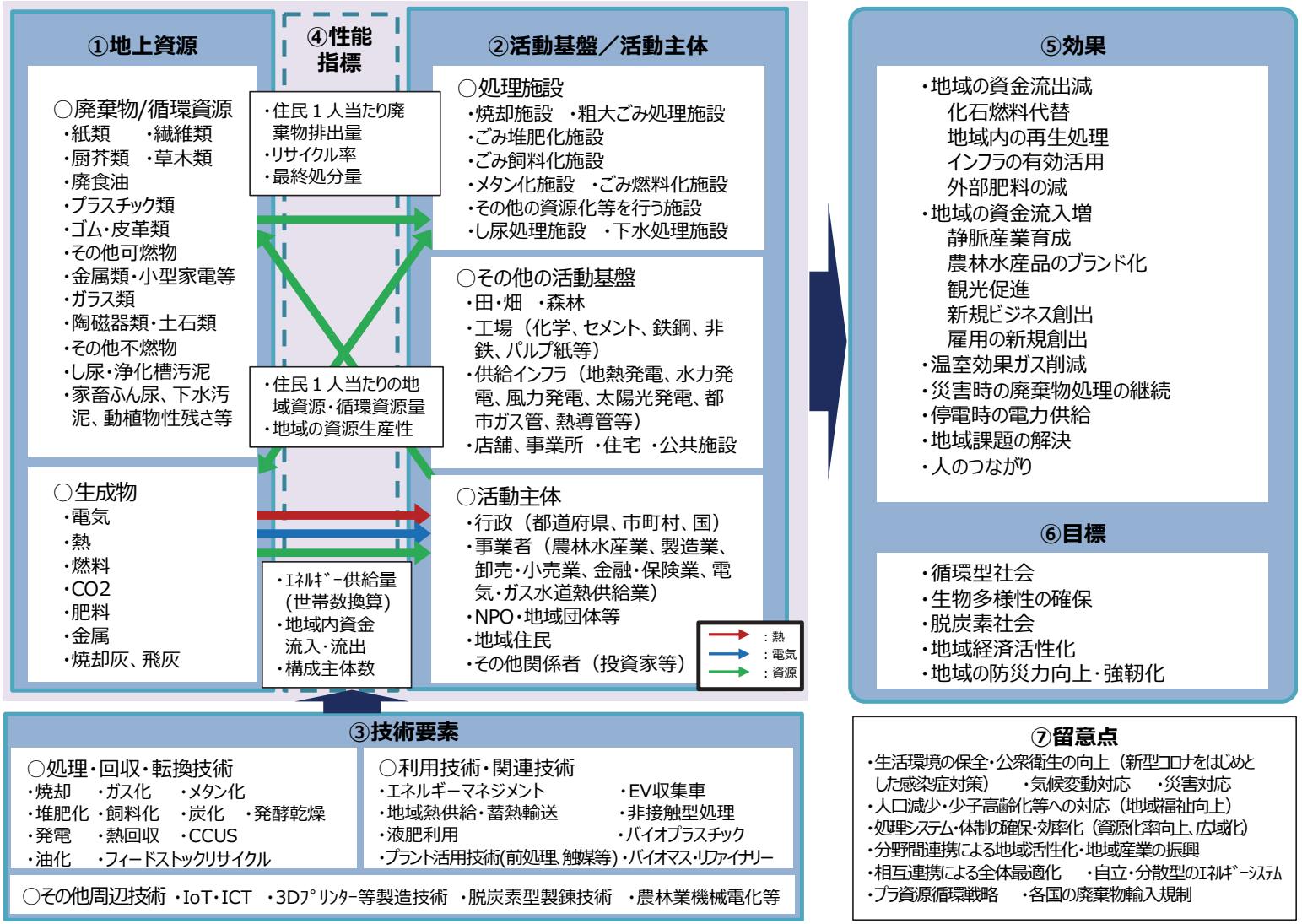
森里川海下絵イメージ



地域循環共生圏のイメージ図で表現する
構成要素の整理

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

【参考】モデルの構成要素の整理（検討中）



Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

3．地域特性（産業・資源・課題）に対応したサブモデル

＜農業連携モデル＞
まとまった農地がある中で、し尿処理施設や浄化槽で主に生活排水処理を行っている地域に、廃棄物処理施設を立地させているケース

＜農林水産業連携モデル＞
農業に加えて、林業や水産業も営まれている地域に、廃棄物処理施設を立地させているケース

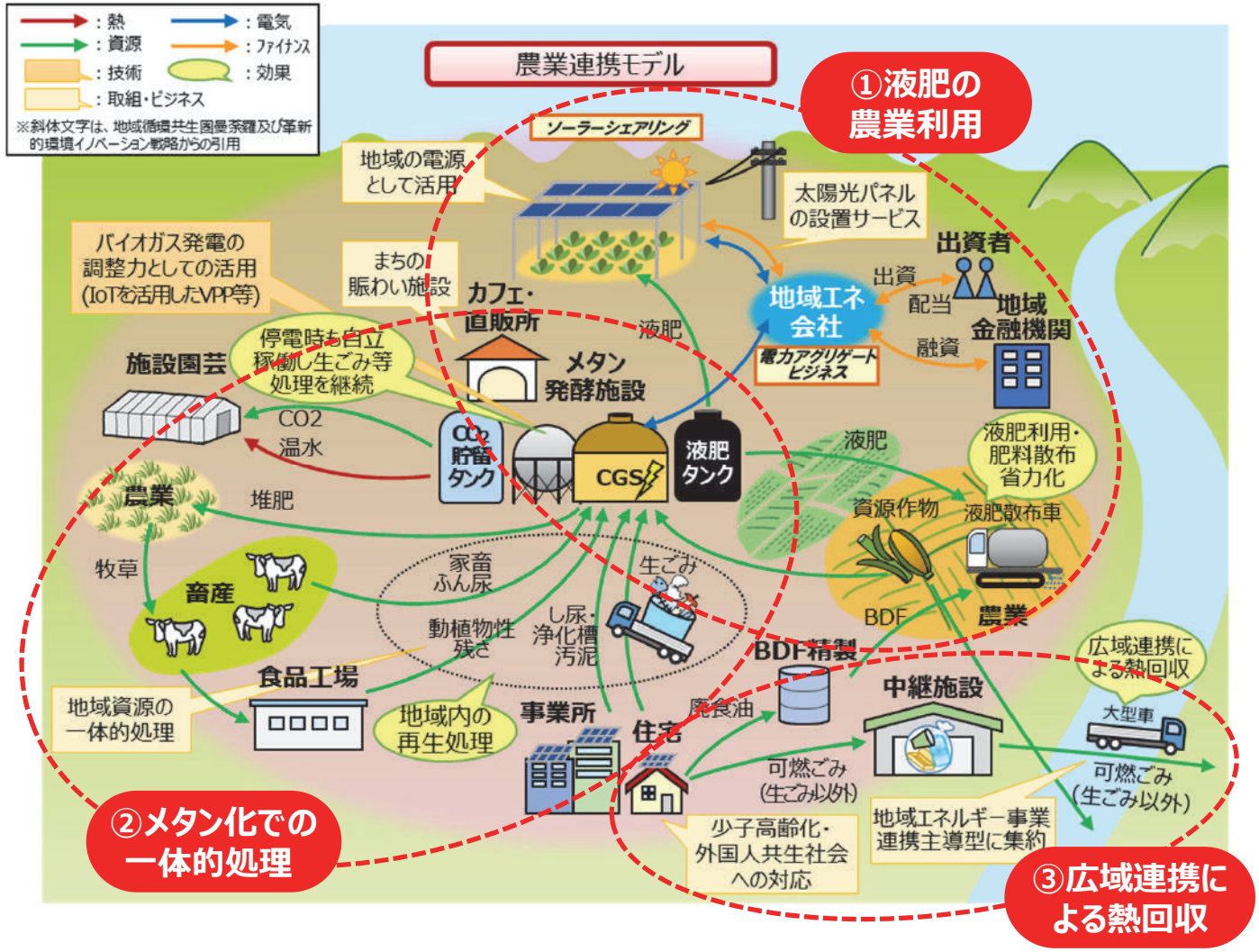
＜地域ユーティリティ産業連携モデル＞
コンパクトなまちづくりを進める中で、廃棄物処理施設を地域のエネルギーセンターとして市街地に立地させているケース

＜地域製造業連携モデル＞
高温蒸気を使う工場(製造業等)が立地する地点や工業団地の近傍に廃棄物処理施設を立地させているケース

＜素材産業連携モデル＞
素材等の産業の集積がある地域で、資源循環を通じた産業の脱炭素化が図られているケース

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

3（1）農業連携モデル：主な取組と着目点



農業生産コスト削減

↑

廃棄物の性状と生成物の需要に応じた処理

↓

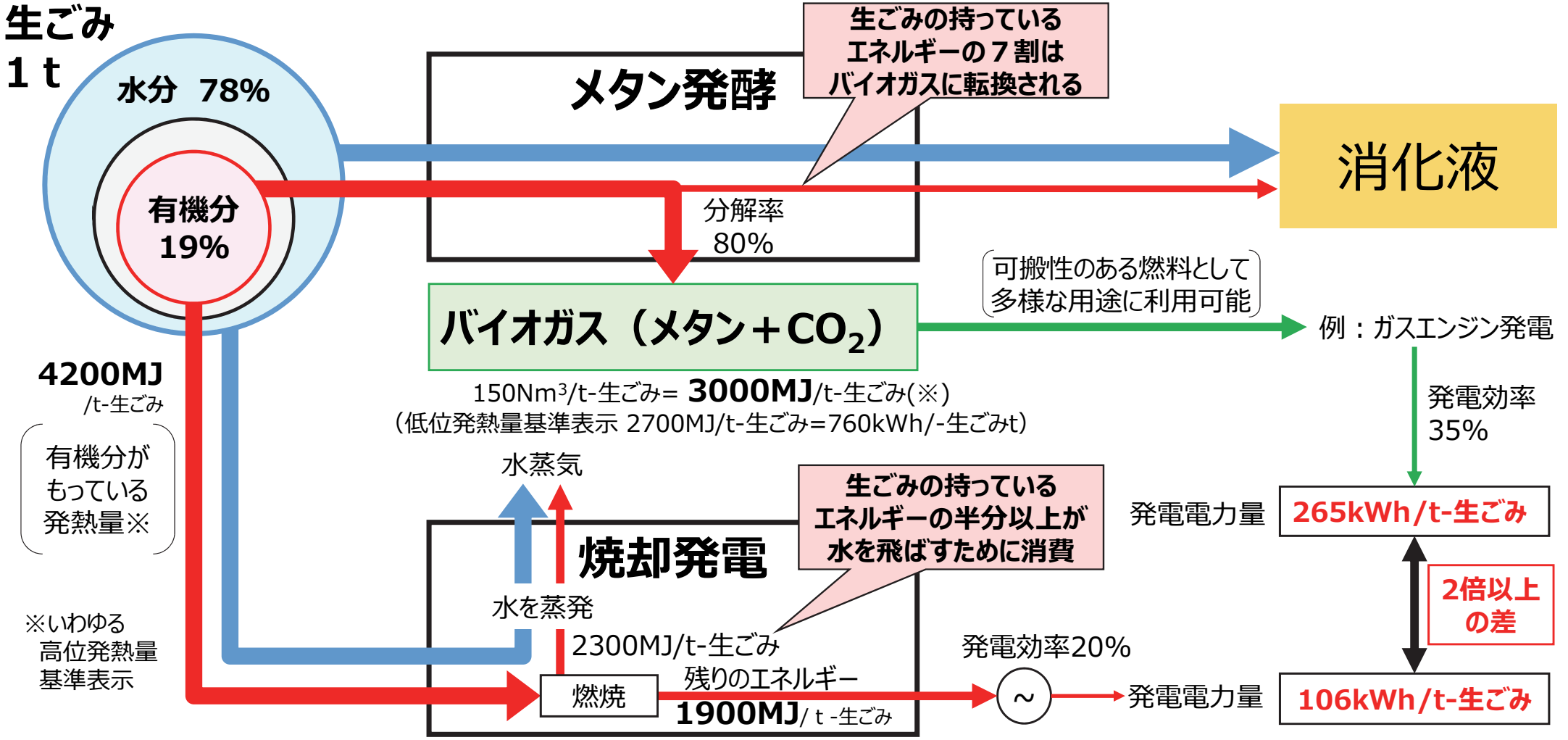
従来型のし尿処理施設と単純焼却からの転換

一つのメタン発酵施設が、し尿処理施設と生ごみ処理施設を兼ねている。

焼却量減少⇒焼却施設整備時に必要規模が縮小（このモデルでは、そもそも域内に焼却施設を持たない。）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

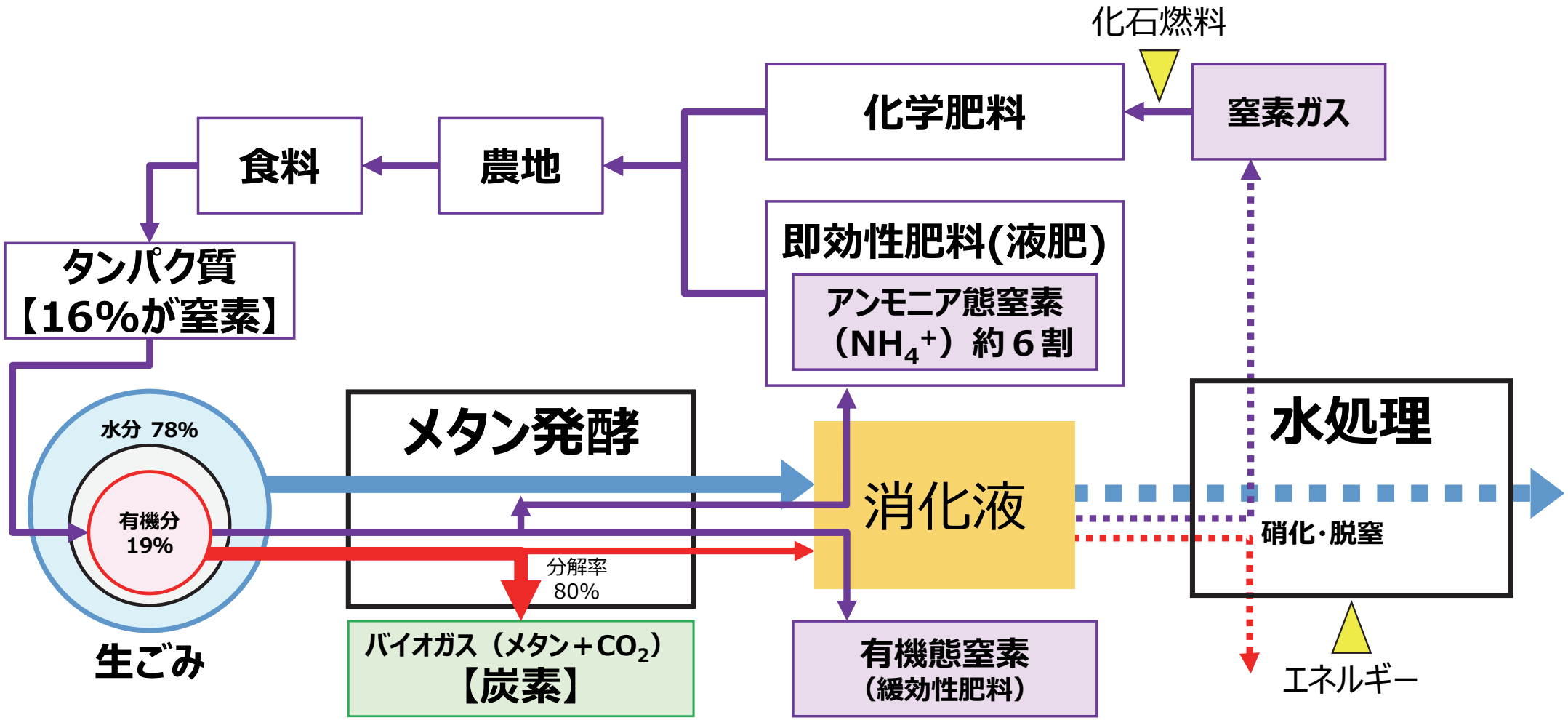
廃棄物の性状に応じた処理：生ごみ１ｔから発電（エネルギー回収）



【メタン発酵のバイオガス化利用システムの効果の研究レビューや国内のポテンシャル推計を含む研究例】 酒井伸一・矢野順也
「食品廃棄物のリデュース・リサイクルによる都市廃棄物処理戦略に関する展望」廃棄物資源循環学会誌、25(1)、2014

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

「メタン発酵施設」か「メタン(ガス)化施設」か



関連する御講演：令和２年度第２回シンポジウム事前オンラインレクチャー
間藤 徹（京都大学名誉教授）「農業分野における地域循環共生圏の考え方と事例」

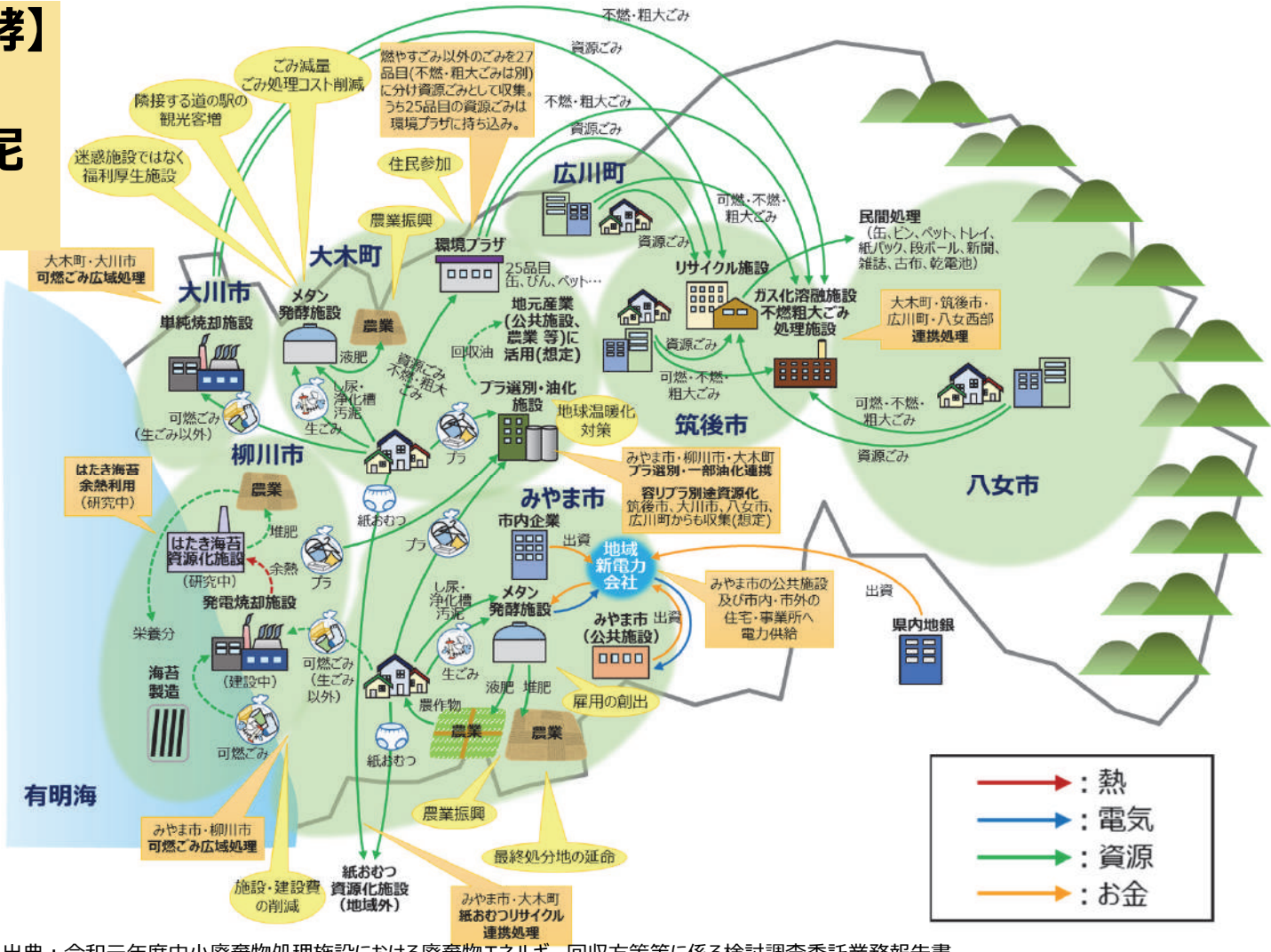
Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

参考事例：南筑後地域の現在の取組例（現状のイメージ図）

【メタン発酵】
・し尿
・浄化槽汚泥
・生ごみ

大木町 くるるん
2006年（約40t/日）

みやま市 ルフラン
2018年 （130t/日）



出典：令和元年度中小廃棄物処理施設における廃棄物エネルギー回収方策等に係る検討調査委託業務報告書
（令和２年３月、パシフィックコンサルタンツ株式会社、一般財団法人日本環境衛生センター）

２つの写真：PCKK撮影（2020.2.4）

※本事業での現地訪問時

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

参考事例での農業生産コスト削減効果（大木町の場合）

①液肥の農業利用

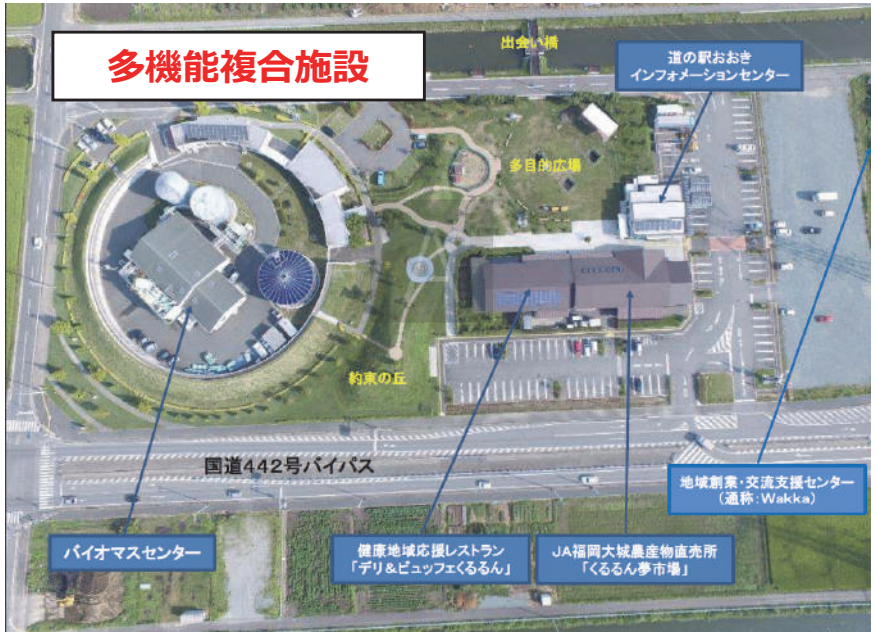
農業生産への液肥の利用

●需給バランス

液肥 5500t/年 ÷ 稲作元肥 5t/10a使用 稲作追肥 2t/10a使用 ＝ 液肥施用面積 **80ha**

⇕

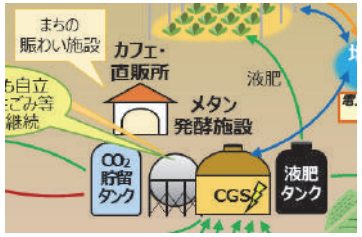
大木町の田耕地面積 **973ha**



●コスト削減効果

円/10a	慣行農法	液肥＋化肥	液肥のみ
肥料購入費	8,913	2,674	0
肥料散布費	2,073	1,564	1,400
肥料散布費用（合計）	10,986	4,238	1,400

出典：畑中 直樹ら「福岡県大木町における生ごみ・し尿・浄化槽汚泥資源化の多面的効果に関する研究」環境情報科学 学術研究論文集 28(2014)などより引用・一部改変等により作成



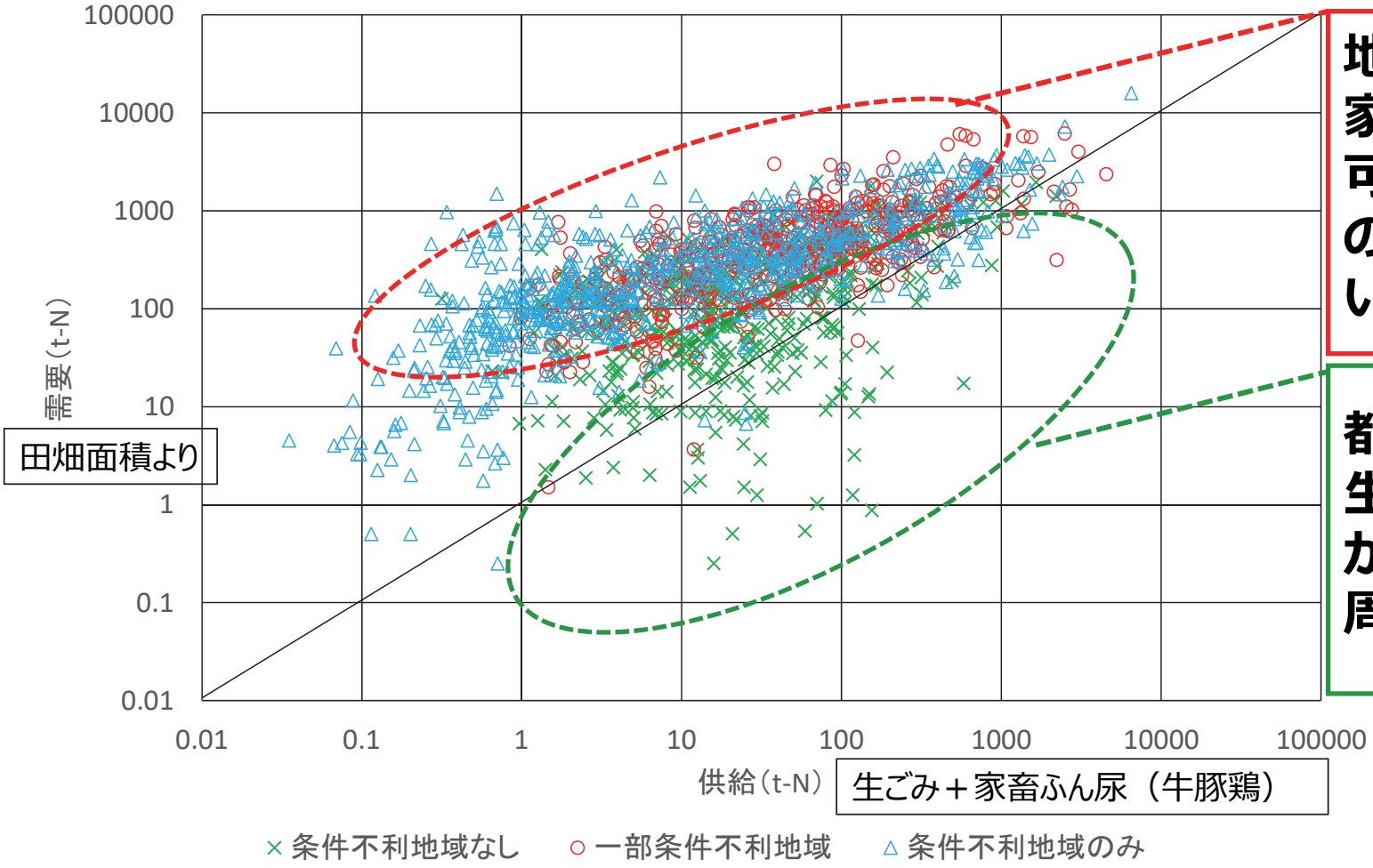
※大木町・みやま市でCO_2が利用されているわけではありません。

２写真の出典：大木町による資料
https://www.env.go.jp/council/03recycle/mat01-3-32.pdf

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

全国的な適用可能性イメージ（市町村単位の窒素需給バランス）

①液肥の農業利用



市町村別窒素需給ポテンシャル（全市町村）

地方部では、生ごみ及び家畜ふん尿から窒素供給可能量に対して、農地での需要想定量の方が大きい市町村も多い。

都市部では、生ごみの発生量に比して、農地面積が少ない市町村もあり、周辺地域との連携が必要。

【注意】大雑把な手法での試算値であり、使用した統計数値には市町村によっては秘匿値もあることなどから、数値の絶対値は正確ではありません。全体的傾向のイメージとして提示したものです。

出典：令和元年度中小廃棄物処理施設における廃棄物エネルギー回収方策等に係る検討調査委託業務報告書
（令和２年３月、パシフィックコンサルタンツ株式会社、一般財団法人日本環境衛生センター）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

し尿処理施設の課題と参考事例の実績

①液肥の農業利用

②メタン化での一体的処理

【参考】し尿処理施設の置かれた状況

※公共施設数900程度は焼却の約85%

■下水道普及に伴う搬入量減少

■浄化槽汚泥割合の増加（くみ取り・下水道など集合処理計画区域から転換）

⇒低負荷への対応

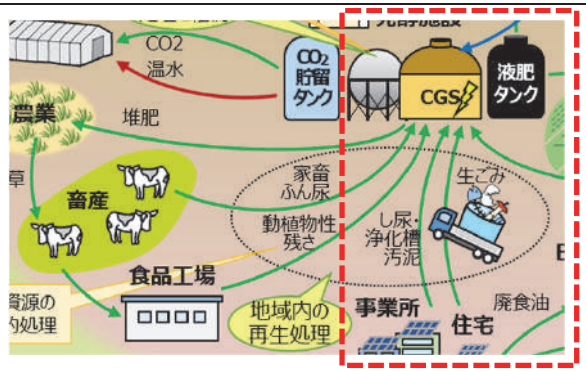
■施設の高経年化（財政状況）

（参考）都市清掃 No.344(2018)

【温室効果ガス排出面の課題】

■エネルギー回収施設ではなく、エネルギー消費施設になっている。

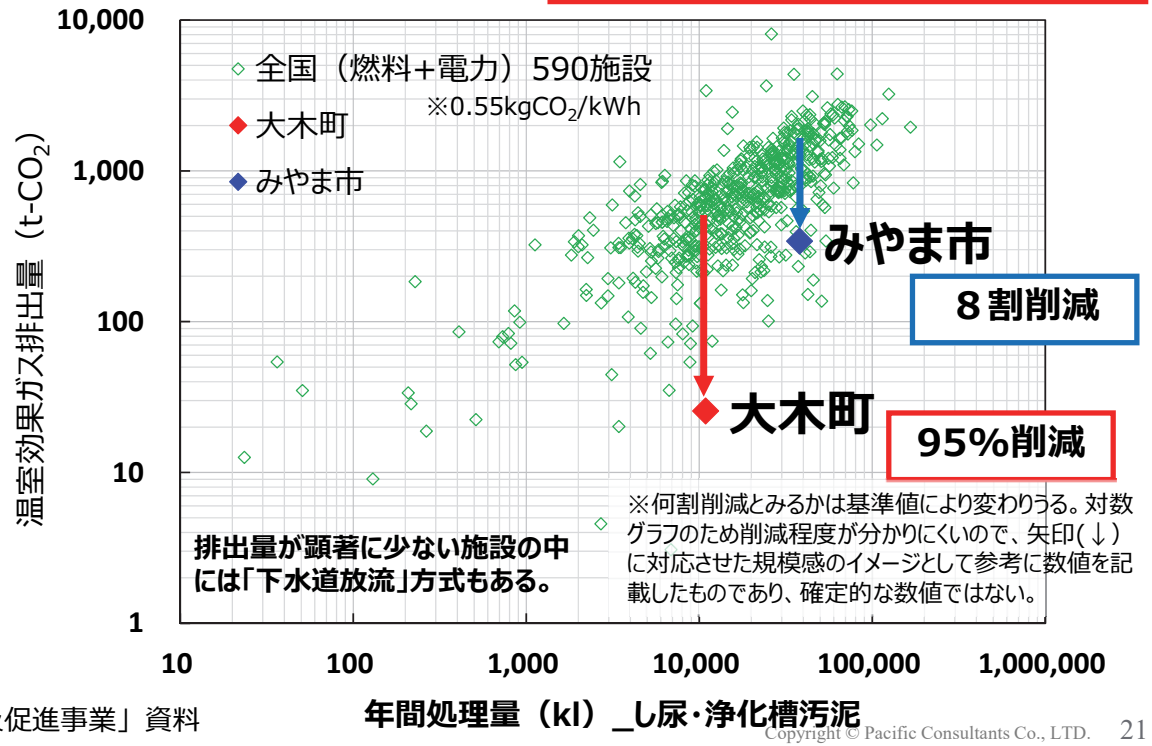
■水処理に電気を、汚泥処理（乾燥・焼却）に化石燃料を使用。



液肥利用＋生ごみも合わせた一体的処理で、大幅なCO2削減

生活系中心の生ごみを合わせるだけでは電気外部供給までは難しい。

現状、交付金での特別扱いは無い。液肥タンクは、対象外ではないか。



右図の出典：「令和２年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO_2対策普及促進事業」資料

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

3（2）農林水産業連携モデル：主な取組と着目点

農業連携モデルに加えて林業や水産業との連携も図る。

↑

既存のごみ焼却発電施設で生じた余裕能力を活用

↓

地域産業に排熱供給

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

農林水産関連での温熱需要の可能性（事例）

①地域産業への熱供給

●国内の廃棄物焼却施設での事例

付加価値が高いもの、他産地との差別化に温度管理が効果的なものなどの生産物が成立しやすい可能性？今後は大規模化も？？

■事例（一部）

・酒々井町：民間企業の花卉の種苗の園芸施設
＜経緯＞農業ハウスを自治体が誘致

・八代市：漁協の水産物の種苗供給施設

・株式会社市原ニューエナジー：ミョウガ＜タービン排気を活用＞

参考：令和2年度一般廃棄物処理の脱炭素化に向けた廃棄物エネルギー利活用等に関する説明会（事例：佐賀市、久慈市、八代市）

●木質系バイオマスボイラで規模の大きい事例が見られ始めている。

■株式会社サラ（野菜栽培大規模園芸施設へ電気・熱・CO_2供給）

■久慈バイオマスエネルギー株式会社（菌床しいたけ栽培の大規模園芸施設への熱供給、木質チップの乾燥）

●地熱・温泉熱では昔から活用されている。

■奥村「全国の熱水活用及びバイナリー発電の事例」←多数の事例紹介（https://www.enaa.or.jp/?fname=gec_h29_3_2.pdf）

廃棄物エネルギー利用
温水暖房方式農業施設
（右側は農業施設内部に配置された放熱管、左側は放熱管の上に設置された育苗トレー）

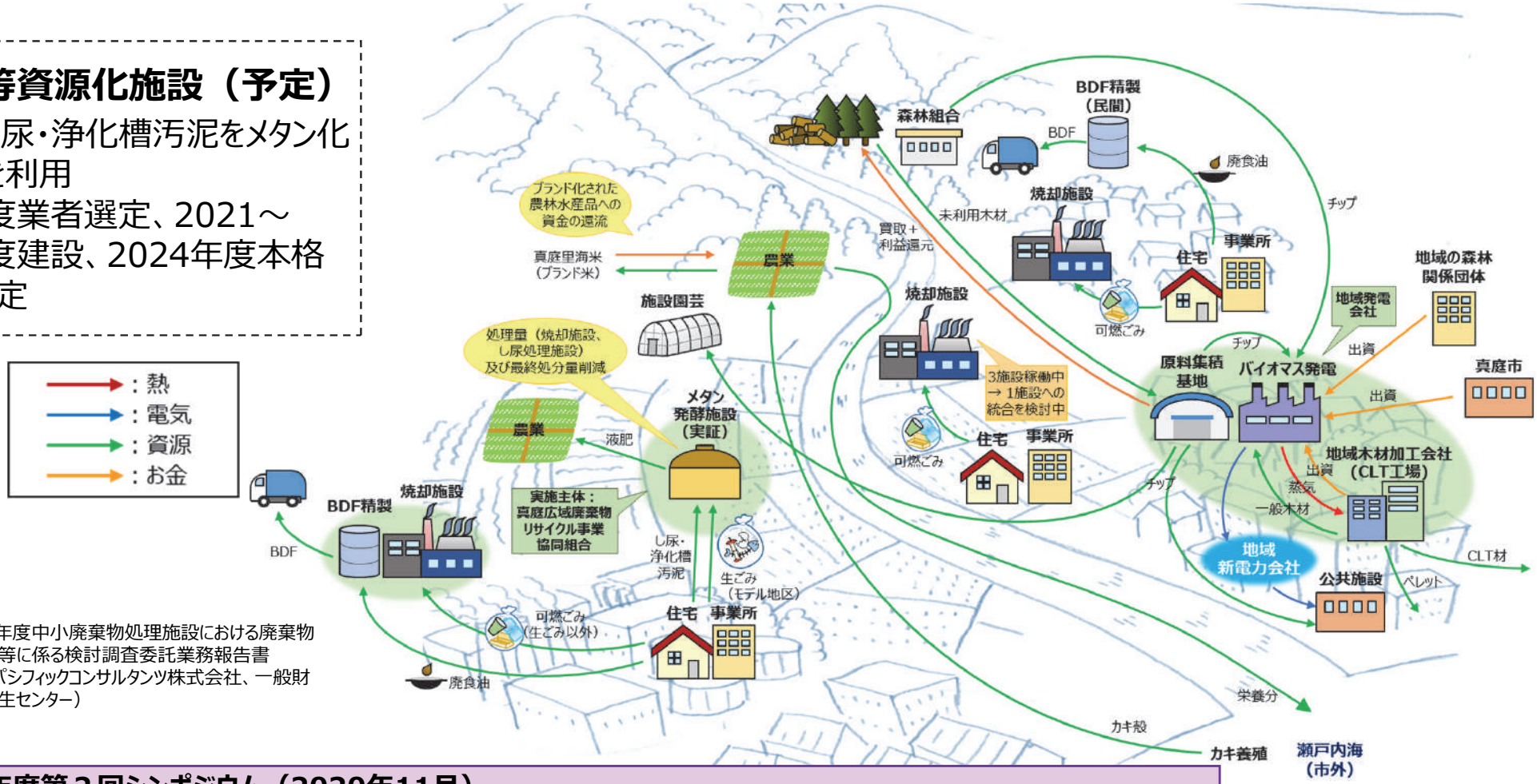
出典：廃棄物エネルギー利用高度化マニュアル
（写真はPCKK撮影）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

参考事例：真庭市の現在の取組例（現状のイメージ図）

■生ごみ等資源化施設（予定）

- 生ごみとし尿・浄化槽汚泥をメタン化し、液肥を利用
- 2020年度業者選定、2021～2023年度建設、2024年度本格稼働の予定



図の出典：令和元年度中小廃棄物処理施設における廃棄物エネルギー回収方策等に係る検討調査委託業務報告書（令和２年３月、パシフィックコンサルタンツ株式会社、一般財団法人日本環境衛生センター）

参考: 令和２年度第２回シンポジウム（2020年11月）
太田 昇（真庭市長）、有本 均（総合政策部長）「有機系廃棄物資源化と木質系バイオマス事業への道のり」
平成30年度説明会（関西地区）（2018年12月）
藤田 浩史（真庭市環境課）「生ごみ分別・バイオガス化を核とする循環による持続可能なまちづくり」

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

参考資料・文献例（農林水産業連携主導型モデル）

●中小廃棄物事業におけるシンポジウム等（一部を列挙）

【地域事例】太田 昇（真庭市長）、有本 均（真庭市総合政策部）「有機系廃棄物資源化と木質系バイオマス事業への道のり」
令和２年度第２回シンポジウム（2020年11月）

【地域事例】西村 良平（南丹市長）「バイオマス利活用先進地・南丹市「森、里、街、ひとがきらめくふるさと」を目指した取組」
令和２年度第２回シンポジウム（2020年11月）

【バイオマス利活用技術全般】中村 一夫（京都高度技術研究所）「都市部と中山間地におけるバイオマス利活用技術の概要」
令和２年度第２回シンポジウム（2020年11月）

【窒素と農業】間藤 徹（京都大学名誉教授）「農業分野における地域循環共生圏の考え方と事例」
令和２年度第２回シンポジウム事前オンラインレクチャー（2020年11月）

※メタン発酵事例を中心に過去の説明会でも多く御講演があるところ、ここでは令和2年度に限定して記載させていただきました。
本部分に限らず、本資料においては、多くの御講演を全ては記載できない失礼を、お詫び申し上げます。

●その他に参考とした資料例

中央環境審議会循環型社会部会（第32回）　【資料１－３】大木町の循環事業（福岡県大木町）　御報告者：境 大木町長
https://www.env.go.jp/council/03recycle/post_166.html

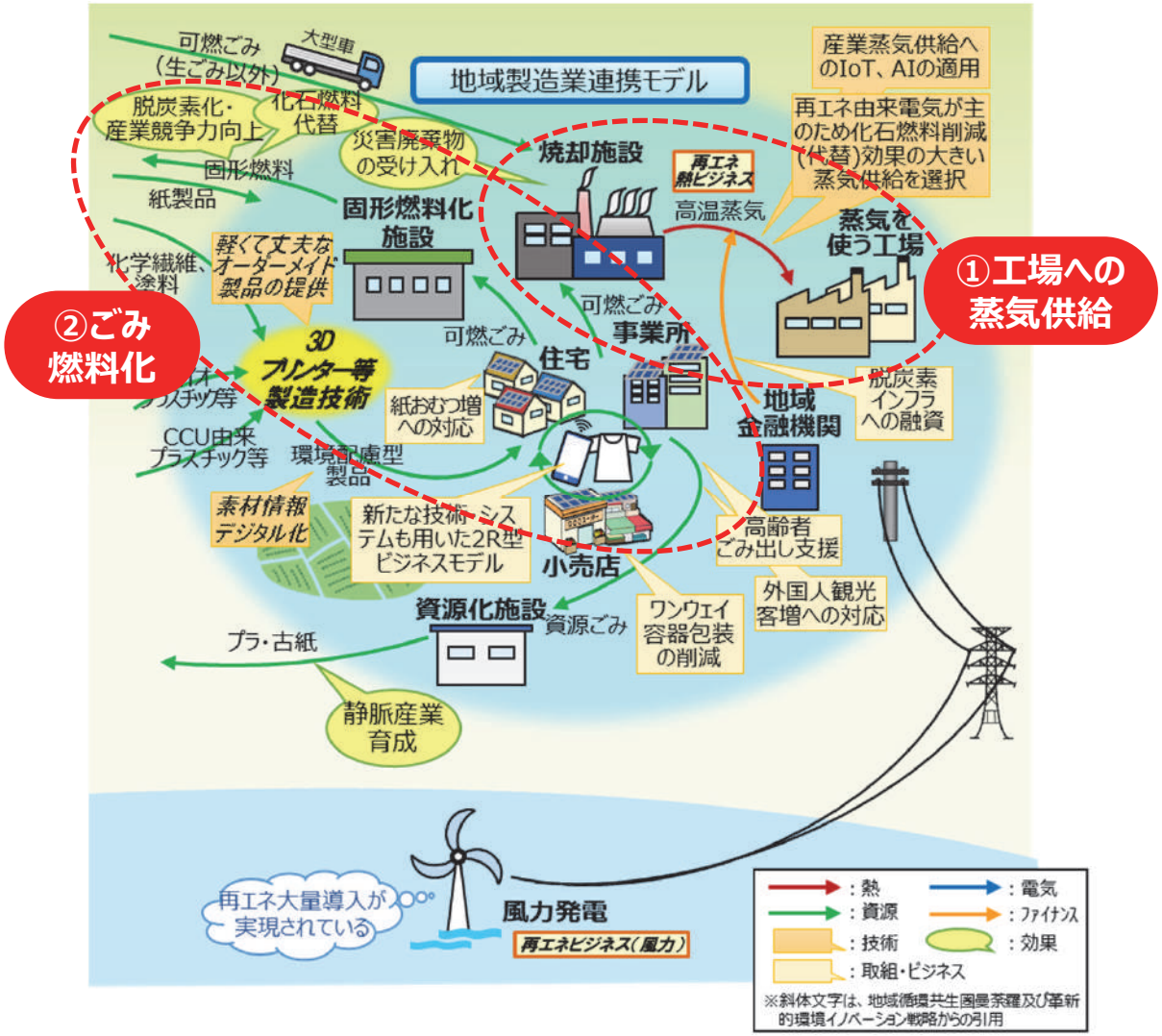
みやま市：松尾 和久「生ごみ、し尿、浄化槽汚泥のメタン発酵によるバイオガス化」都市清掃、71巻、344号、2018.7

前川　忠久ら「福岡県みやま市の資源循環施設に関する研究」大阪産業大学 人間環境論集、19、2020.3
https://osu.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=2237&item_no=1&page_id=13&block_id=21

●業務における資料整理・ヒアリングの結果は業務報告書に記載

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

3（3）地域製造業連携モデル：主な取組と着目点



脱炭素化社会では、化石燃料を安易に燃やせない。

↓

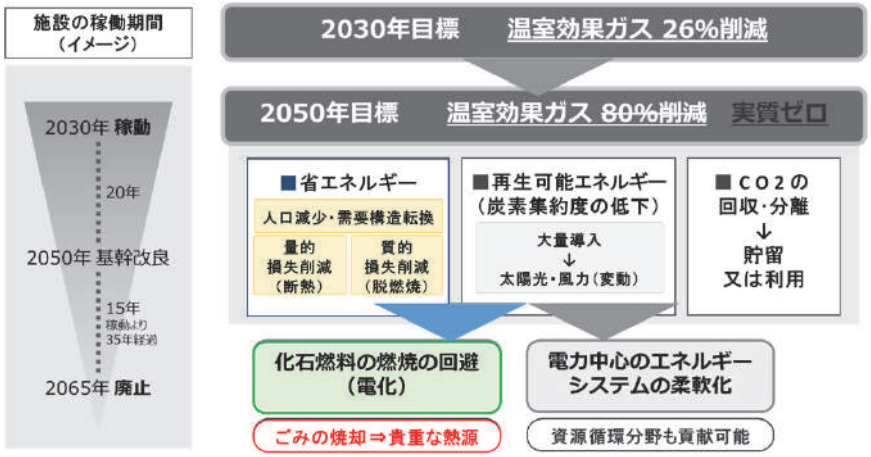
蒸気が必要で電化も困難な地域の工場に、焼却蒸気又は燃料化して供給

↑

ごみ焼却発電は、発電効率が低い。なおかつ、発電排熱を受入可能な地域熱供給インフラが日本では稀。

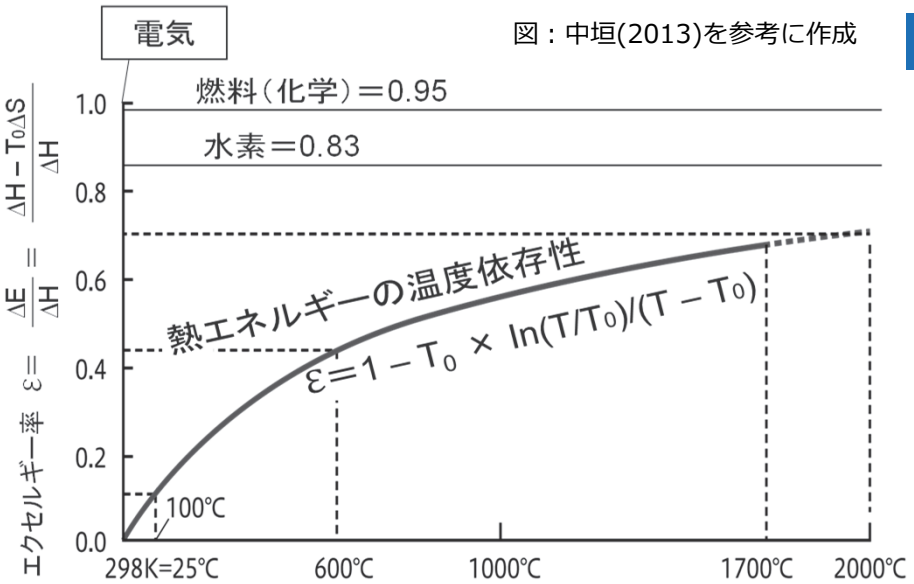
Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

脱炭素化社会では、化石燃料を安易に燃やせない



① 炭素を燃やす（酸素と結合する）と二酸化炭素が発生するから

② ものを燃やして、熱で何かを暖めること自体がエネルギーの損失だから



【エクセルギーとは】

- 「エネルギーの量」に、「エネルギーの質」＝「環境条件で取り出しうる仕事の割合」（エクセルギー率）を乗じて得られるエネルギーの量（単位：ジュール（J））
- 電気と等しい質に換算したエネルギーの量といえる。

エネルギーの損失

エクセルギー

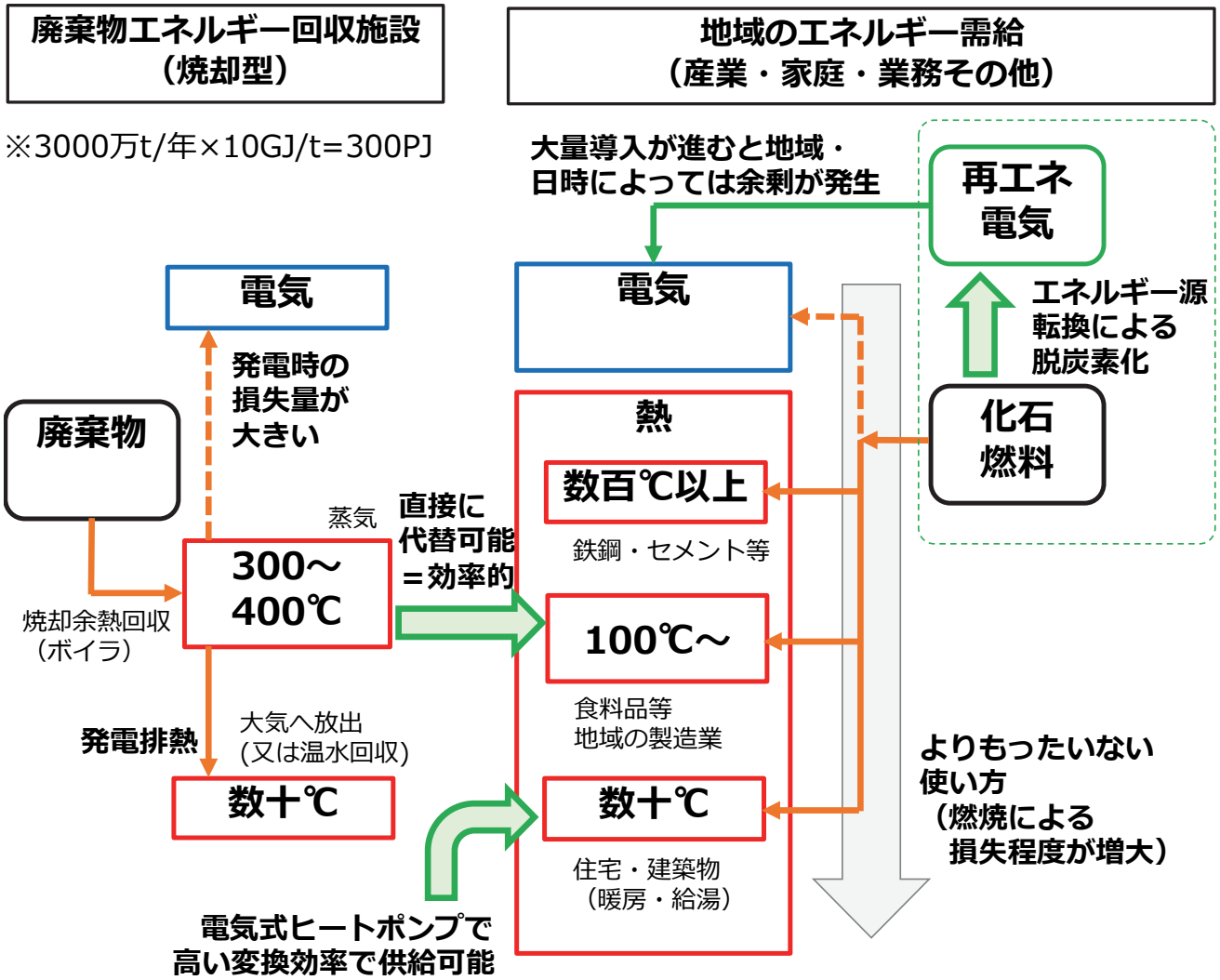
量の減少 × **質の低下**

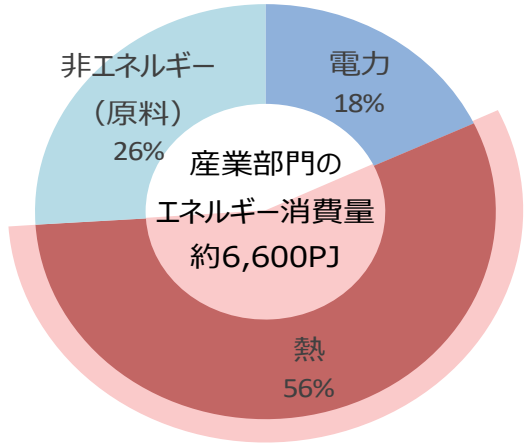
エネルギーの系外への移行（系内からの排出、漏洩）
↑
エネルギー保存の法則（第一法則）

不可逆変化（燃焼、伝熱、混合等）
↑
エントロピー増大の法則（第二法則）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

ごみ焼却施設のエネルギー回収と産業を含む地域のエネルギー需要



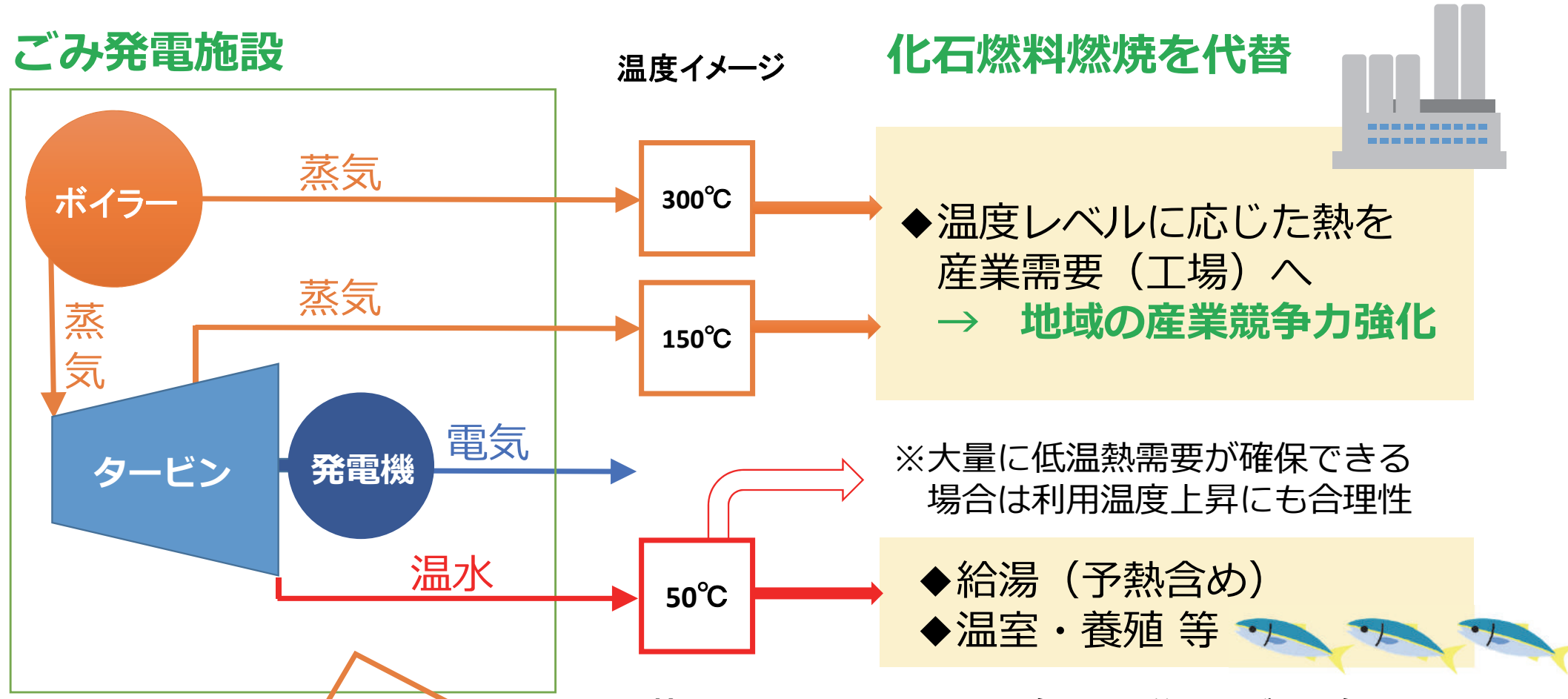


出典：資源エネルギー庁省エネルギー対策課「熱の有効利用について」（平成27年４月17日）より改変

●長期低炭素ビジョンより：
あらゆる分野で電化・低炭素燃料への利用転換が進み、最終エネルギー消費の多くは電力によってまかなわれ、化石燃料は一部の産業や運輸等で使用されている。自家発電についてもより低炭素な燃料への転換が進められている。

【参考】藤井実「廃棄物の熱エネルギー利用の高度化の可能性」令和元年度第１回シンポジウム（2020年２月）

貴重な熱源としての活用可能性（有望な利活用方策）



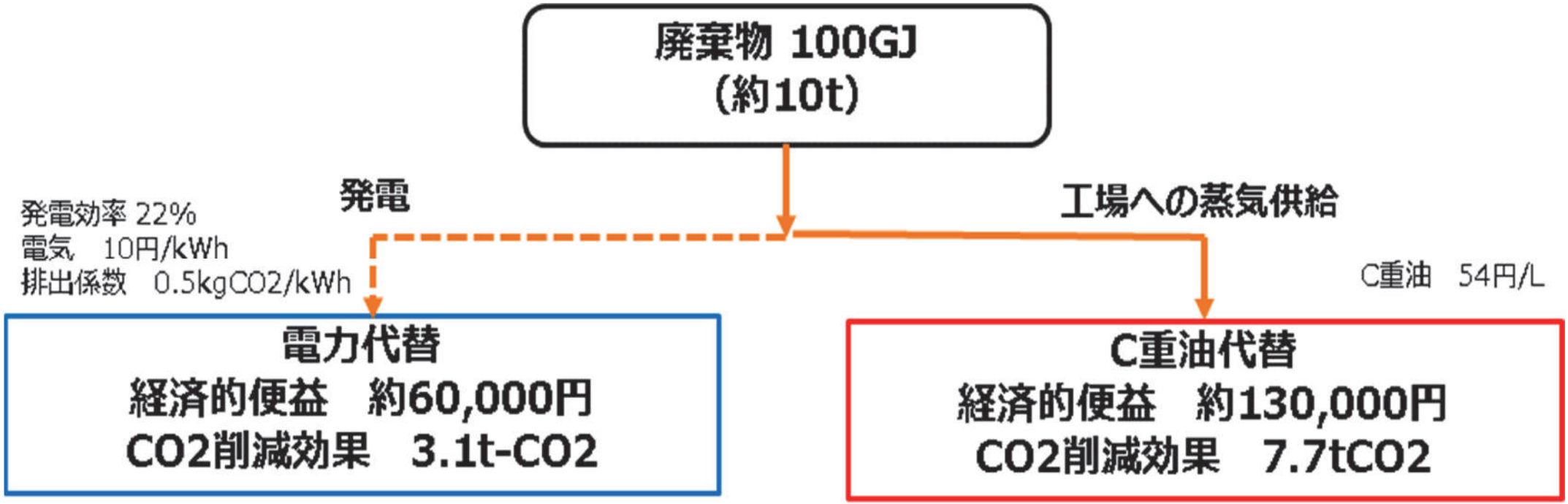
※詳細は環境省「廃棄物エネルギー利用高度化マニュアル」P57御参照

既に焼却している以上、熱量の多い発電後タービン排気を捨てることが問題ではなく、化石燃料の燃焼が削減すべき損失。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

「現状」でも蒸気供給が有利な可能性

①工場への蒸気供給



出典：藤井実「廃棄物エネルギー利用の高効率化に向けた展望」廃棄物資源循環学会誌、30(4), 2019 より改変

●国外での事例

- **韓国 ウルサン【→化学工場】（後述）**
- **ドイツ ハンブルグ市【→製油所】**
  （小野田弘士（2021年２月19日、令和2年度一般廃棄物処理の脱炭素化に向けた廃棄物エネルギー利活用等に関する説明会））
- **ドイツ シュタースフルト【→ソーダ工場】、クナザック【→化学工場】、スイス ヴァインフェルデン【→製紙工場】**
  （令和元年度廃棄物処理システムにおける低炭素・省CO2対策普及促進方策検討調査及び実現可能性調査委託業務報告書）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

発電をやめて産業（工場）への熱供給に特化（韓国の事例）

①工場への蒸気供給

蔚山（ウルサン）インダストリアルパーク

焼却施設

➡ **化学工場への高圧蒸気の供給**

効果1

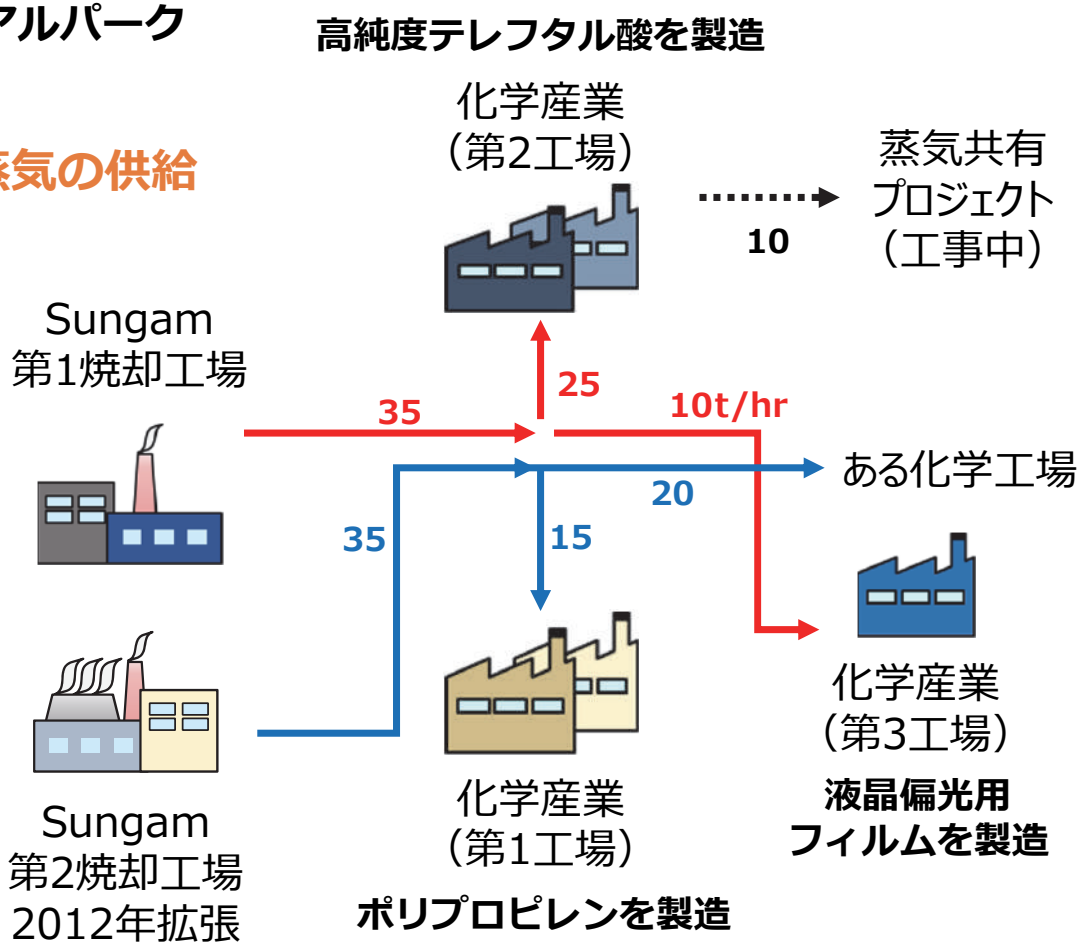
発生させた蒸気を化学工場へ供給。

第１焼却工場から周辺に立地した化学工場へ蒸気を供給したところ、短い投資回収年で大きな効果が実現。

効果2

発電設備を導入せず、事業費を削減。

第２焼却工場の建設では発電設備の導入を取り止め、当該工場へ高圧蒸気を供給することに。蒸気販売に伴う収益を得ることができ、コストメリットも実現。



出典：H27廃棄物発電高度化事業報告書よりPCKKにて作成

化学工場

効果3

このプロジェクトに伴い、**新たな化学工場が立地**。約150百万ドルの投資と140 人の雇用創出。

効果4

CO_2 排出量は45,500t 削減と試算。

熱源転換（Ｂ・Ｃ重油⇒蒸気）により3.7百万ドルの節約。

【参考】大西 悟「韓国・地域EIPセンターが促す焼却熱の工場利用の実態」廃棄物資源循環学会誌、30(4)、2019

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

日本においても工場への蒸気供給例はあります。

①工場への蒸気供給

焼却施設の隣にあれば、蒸気配管は民間工場持ちでも、あるいは、売電収入低下を補う単価で蒸気を売却しても、経済的に成立。

技術概要

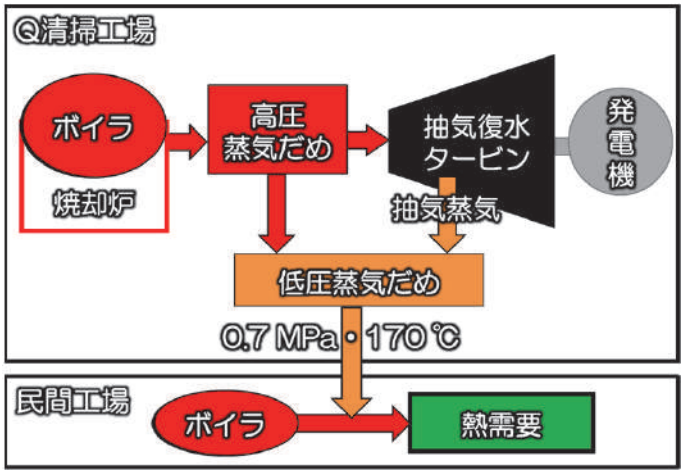
- 工場は通常既存の熱源機器を保有。ごみ焼却施設側の事情による供給可能蒸気量の変動等に対して柔軟に対応しやすい。

導入効果(先行事例等)

- Q清掃工場では、発電設備が導入されておらず余剰蒸気が発生していた。隣接する民間工場からの供給要請とあいまって検討が行われ、平成９年度より蒸気配管による供給（高圧蒸気）が開始された。
- 現在は新設工場からの低圧蒸気（タービン抽気蒸気を優先）が主体。熱供給せずに発電するよりも、年間約1,500t-CO2が削減されている（試算）。

導入にあたっての留意点

- 民間施設に熱供給する場合の手続き



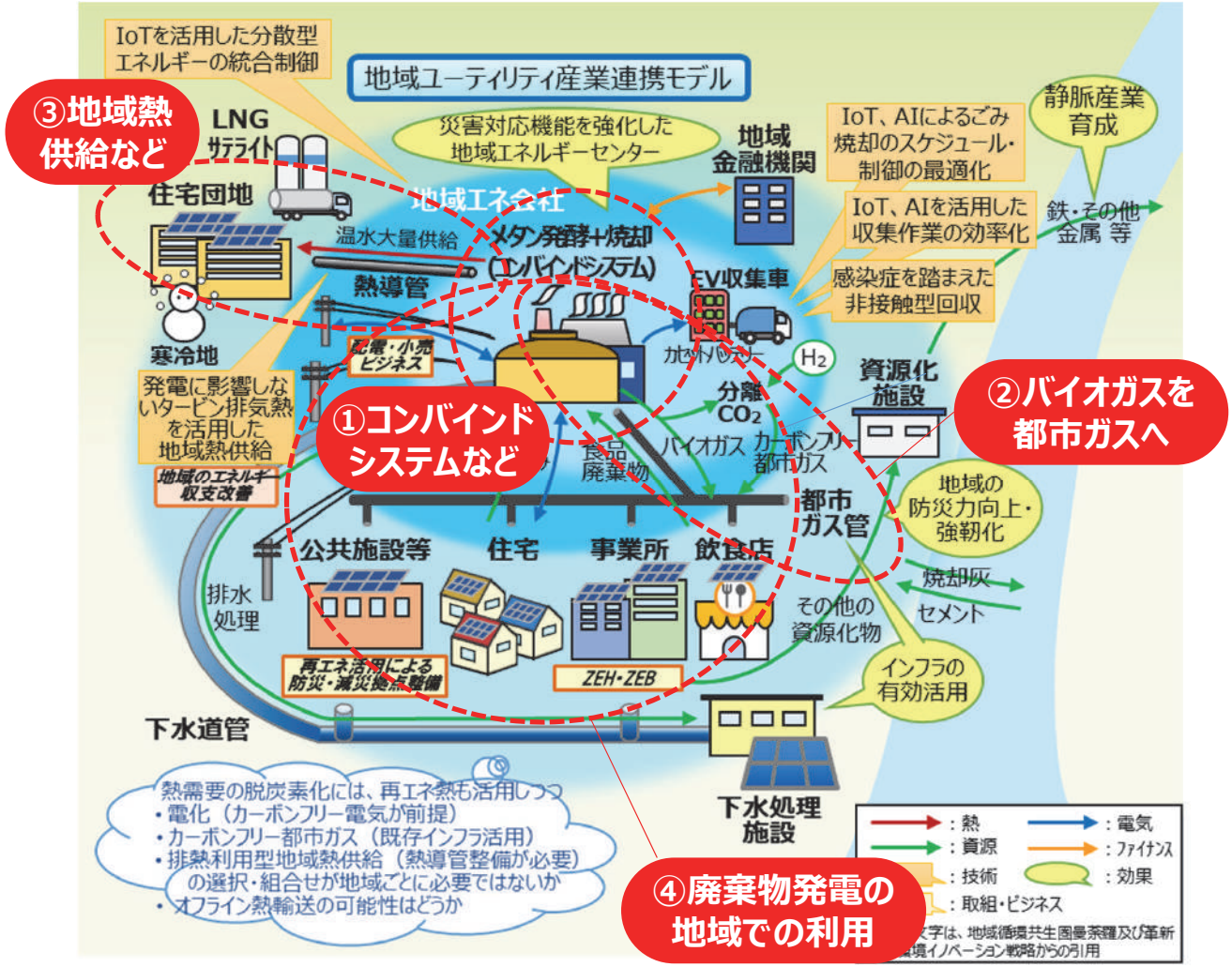
Q清掃工場から外部への熱供給によるCO2排出削減量の試算

	実績（発電と熱供給を併用）	仮想（外部へ熱供給せずに発電した場合）
供給量	外部熱供給量 5.34 万 GJ／年	発電増加量 282 万 kWh（試算値）
排出係数	0.057 t-CO2/GJ	0.000555 t-CO2/kWh
CO2削減量	3,050 t-CO2/年	1,570 t-CO2/年
差し引き	外部熱供給することで 1,480 t-CO2/年の純削減	

（「廃棄物エネルギー利活用高度化マニュアル」P.58より）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

3（4）地域ユーティリティ産業連携モデル：主な取組と着目点



地域の民生熱需要の脱炭素化方策を選択していく必要

↓

エネルギー供給インフラと組み合わせて電化を補完

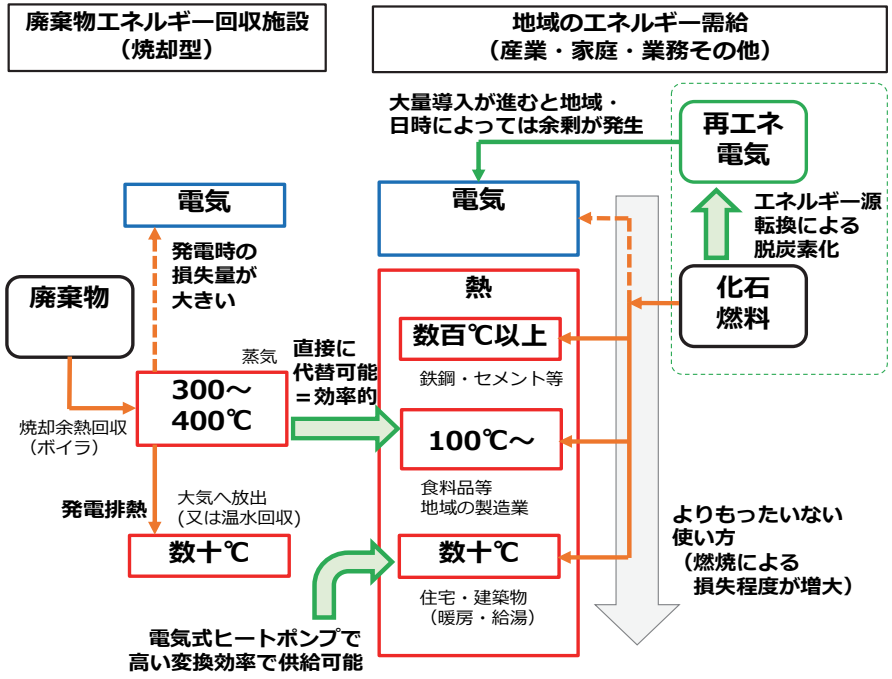
↑

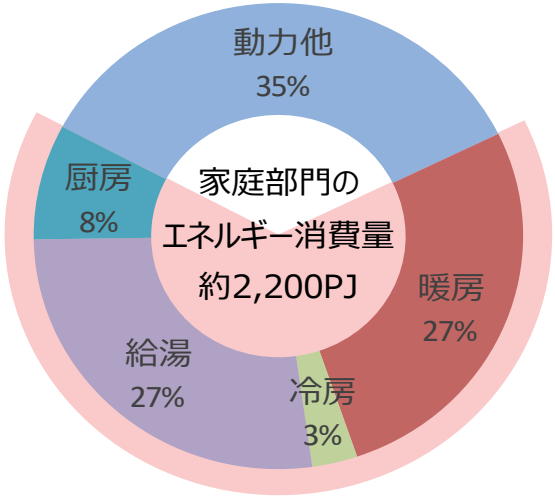
ごみ発電・バイオガス発電では、発熱量の多くは排熱として大気に放出

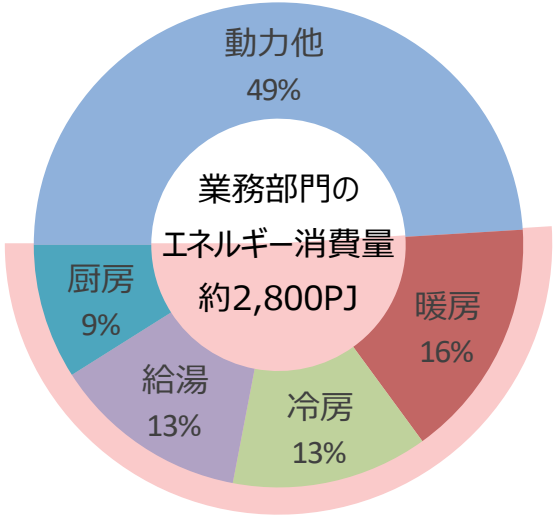
Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

地域の民生熱需要の脱炭素化方策を選択していく必要

●長期低炭素ビジョンより：
全国平均では暖房、給湯は電化が進んでいるが、地域によっては水素、再生可能エネルギー熱、バイオマス熱等を利用するなど地域特性に応じたエネルギー利用も進められている。





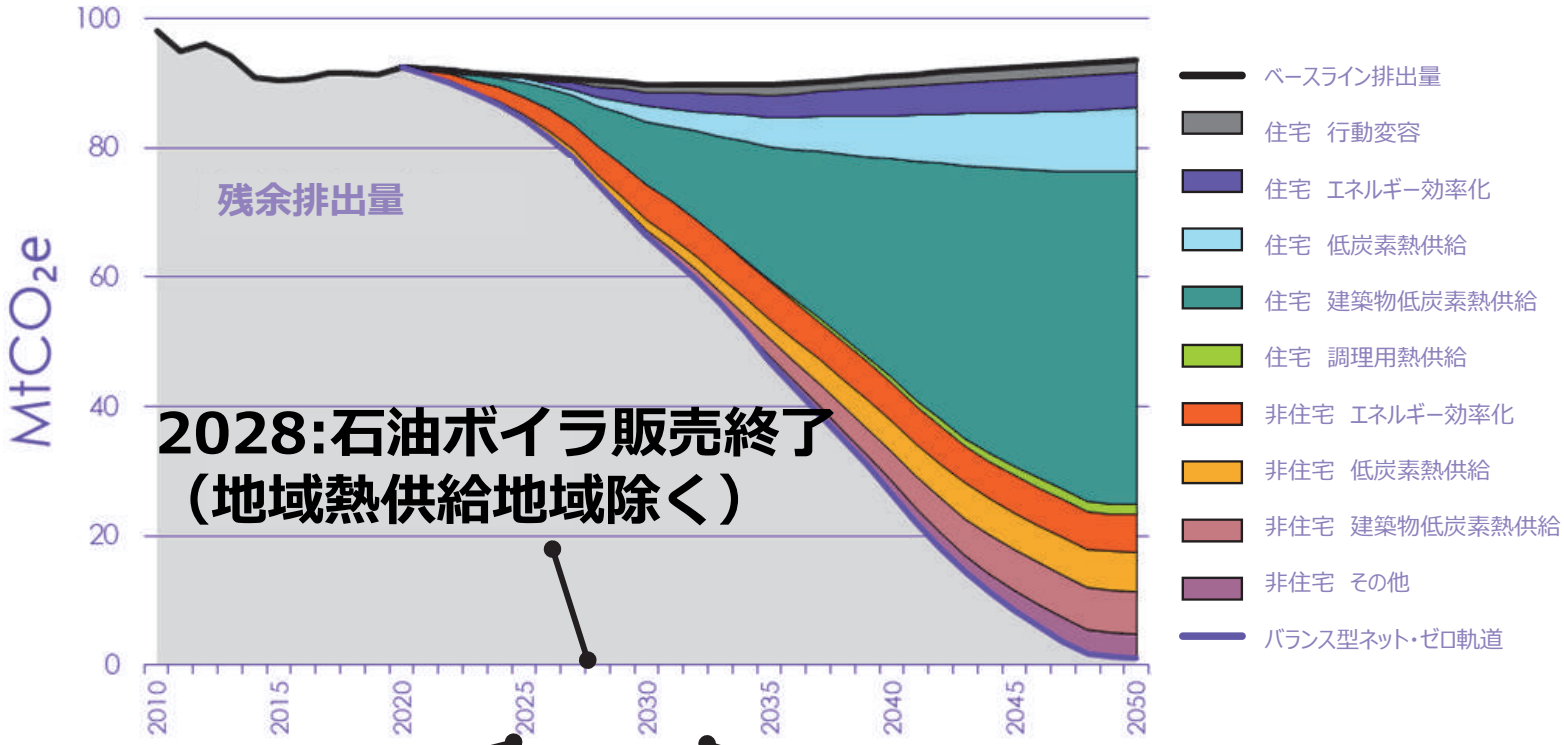


出典：資源エネルギー庁省エネルギー対策課「熱の有効利用について」（平成27年４月17日）より改変

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

地域の民生熱需要の脱炭素化方策を選択していく必要

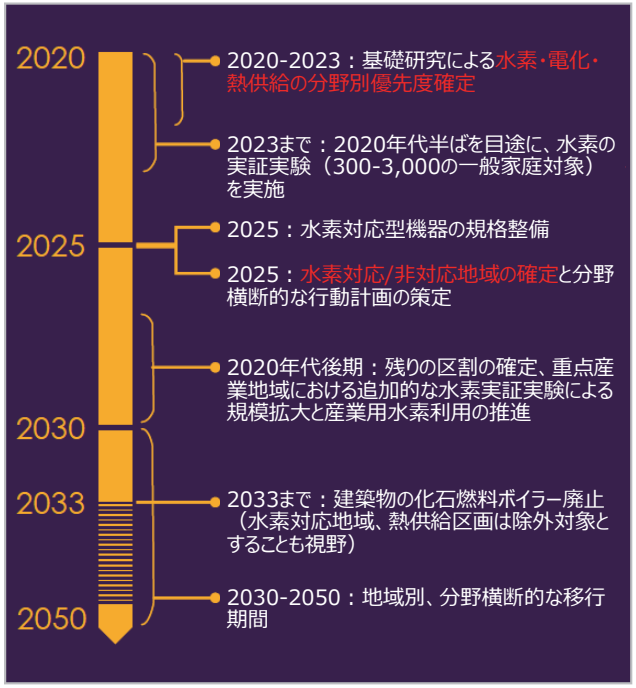
英国のネット・ゼロシナリオ(2020)における住宅・建築物の排出経路



2028:石油ボイラ販売終了（地域熱供給地域除く）

2025:新規販売ガスボイラは水素対応型

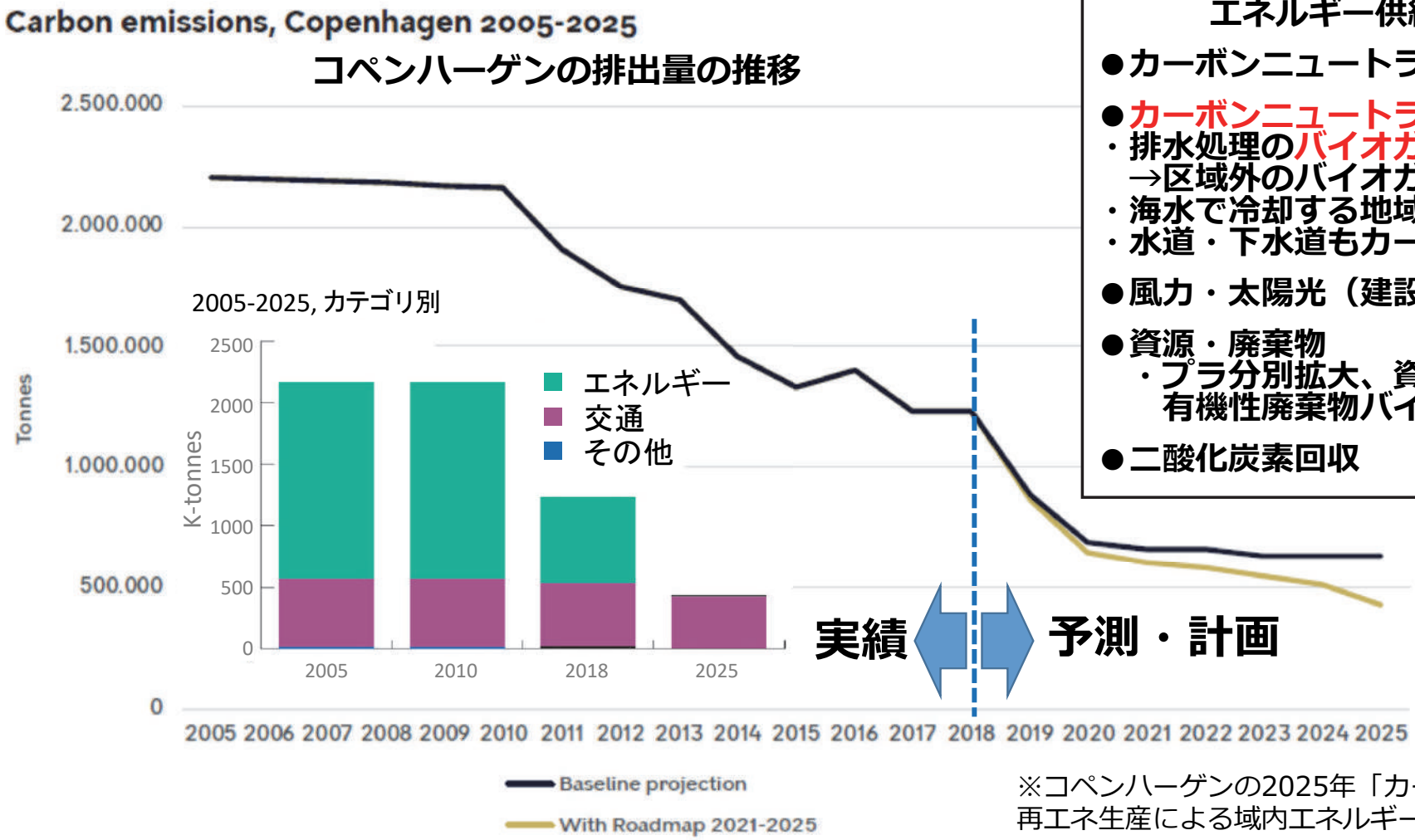
2033:ガスボイラ販売終了(低炭素化地域熱供給・水素供給以外の地域)



出典：Climate Change Committee, “The Sixth Carbon Budget – The UK’s path to Net Zero”（2020年12月）よりPCKK作成（仮訳）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

実際にエネルギー供給の低炭素化を進めてきたコペンハーゲンの状況



エネルギー供給分野での主要取組

- **カーボンニュートラル地域熱供給**
- **カーボンニュートラルユーティリティ**
  - **・排水処理のバイオガスを都市ガスに供給中**
    →区域外のバイオガス生産へも投資し拡大
  - **・海水で冷却する地域冷房（都心部）**
  - **・水道・下水道もカーボンニュートラル**
- **風力・太陽光（建設・投資）**
- **資源・廃棄物**
  - **・プラ分別拡大、資源選別施設の建設、有機性廃棄物バイオガス拡大**
- **二酸化炭素回収**

※コペンハーゲンの2025年「カーボンニュートラル」目標は、再エネ生産による域内エネルギー消費のオフセットを含む。

出典：コペンハーゲン "CPH 2025 Climate Plan: Roadmap 2021-2025" (2020) より引用等
※2021年に残余排出量についての補足的検討結果が示される予定とされている。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

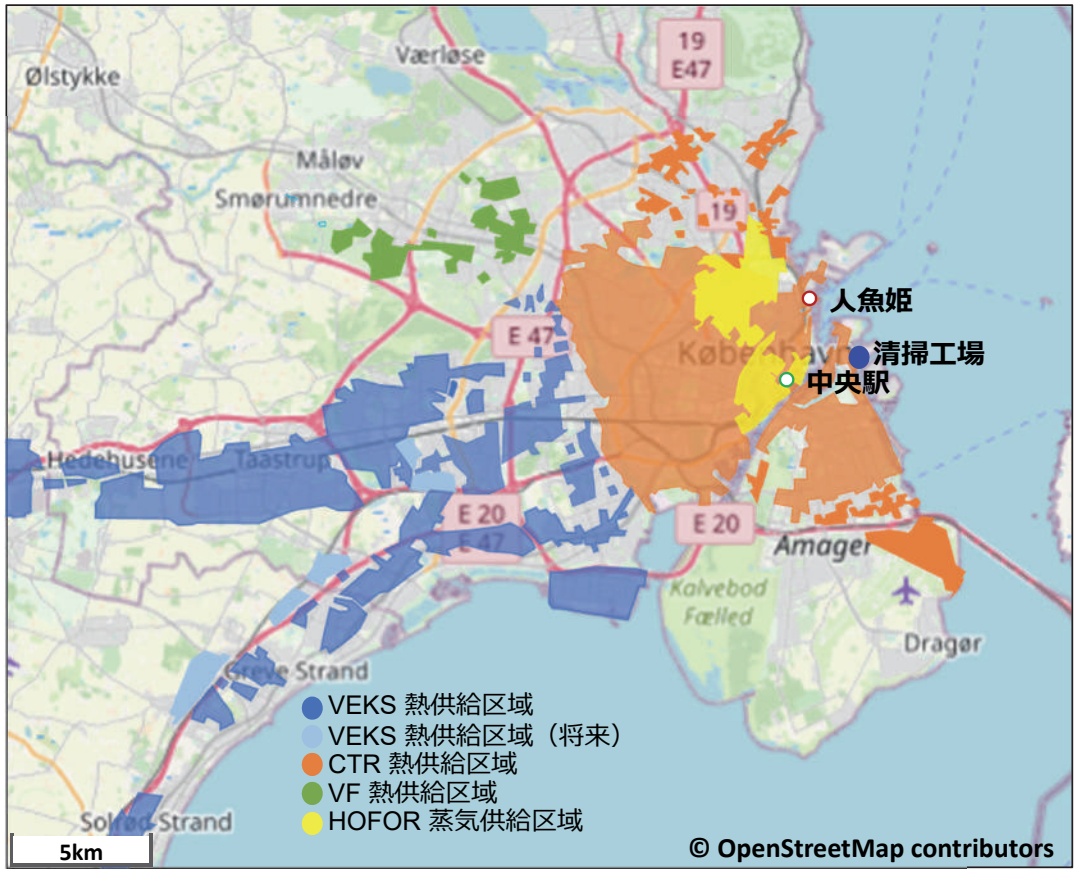
地域熱供給の空間スケール／焼却施設と需要地域との距離感

③地域熱供給など

東京区部

東京二十三区清掃一部事務組合資料よりPCKK作成

コペンハーゲン



https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544216304352 よりPCKK作成

※地域熱供給の熱源は複数あり、ごみ焼却施設（清掃工場）だけではない。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

エネルギー供給形態の柔軟化（熱電併給）

デンマーク　コペンハーゲン広域
新ごみ焼却施設の事例

③地域熱供給など

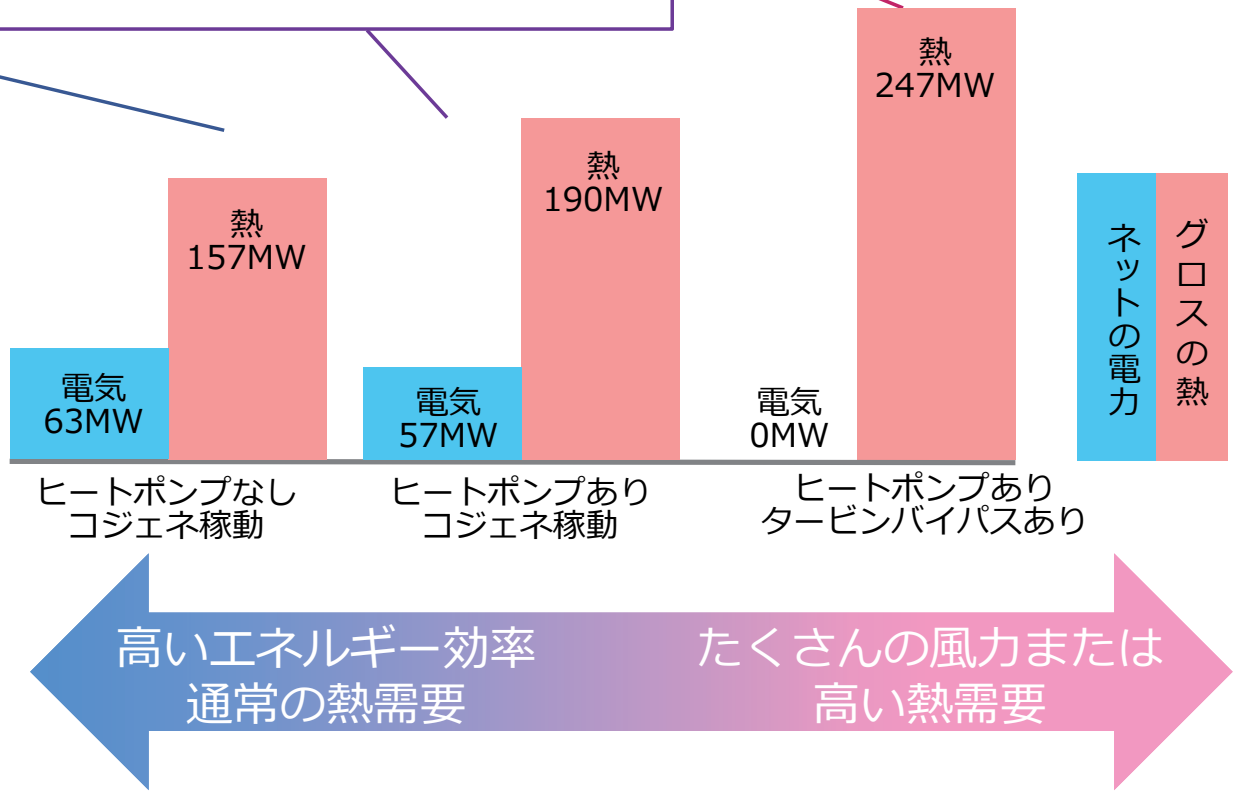
大量の外部熱供給を行いつつ高い発電効率

ボイラ効率は90%程度であるが、排ガス潜熱を吸収式ヒートポンプによりCOP＝5.5相当の熱回収量の増大により、**総合回収率は107%**と非常に高い。発電効率も24%程度であり、発電を行いつつも全量熱供給と同等の総合効率となっている。
（ごみtあたり2.7MWhの熱と、0.8MWhの電気）

通常の熱需要時は、できるだけ高い発電効率
（ヒートポンプ無し）
総合回収率94%程度　（**発電効率27%**程度）

風力発電の出力が多い時期は、全量を熱供給
（**発電しない**）

建築デザインは　BIG　などによる

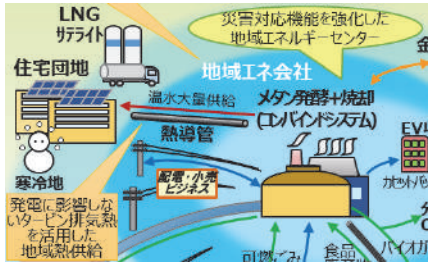


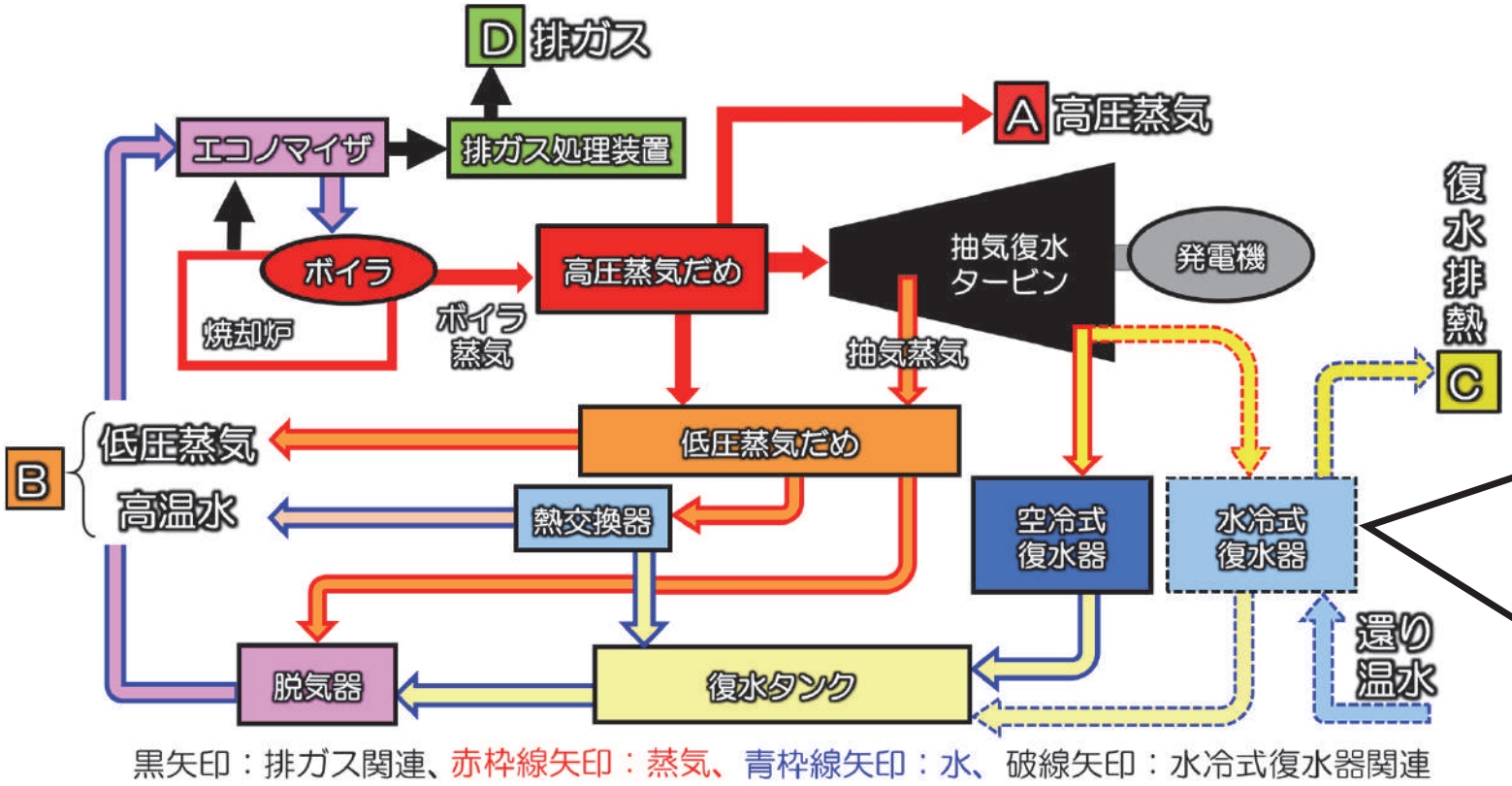
ARC資料よりPCKK作成

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

ごみ焼却発電では、発熱量の多くは発電排熱として大気に放出

熱利用先を十分検討せずに焼却施設を整備すると、「後からどんな用途にでも使えるように」と蒸気供給を前提としがち。
→エネルギー効率の悪化、需要先も蒸気が便利とは限らない。





図の出典：廃棄物エネルギー利用高度化マニュアル（平成29年3月、環境省 廃棄物対策課）

回収するための設備（火力では普通）はシンプルでコンパクト

■**国内事例**

- **廿日市市**（都市ガス工場のLNG気化）5000t以上のCO_2削減
- **ふじみ衛生組合**（防災センター機能を備えた多機能複合施設）
- **光が丘清掃工場**（業務・住宅団地、後述）

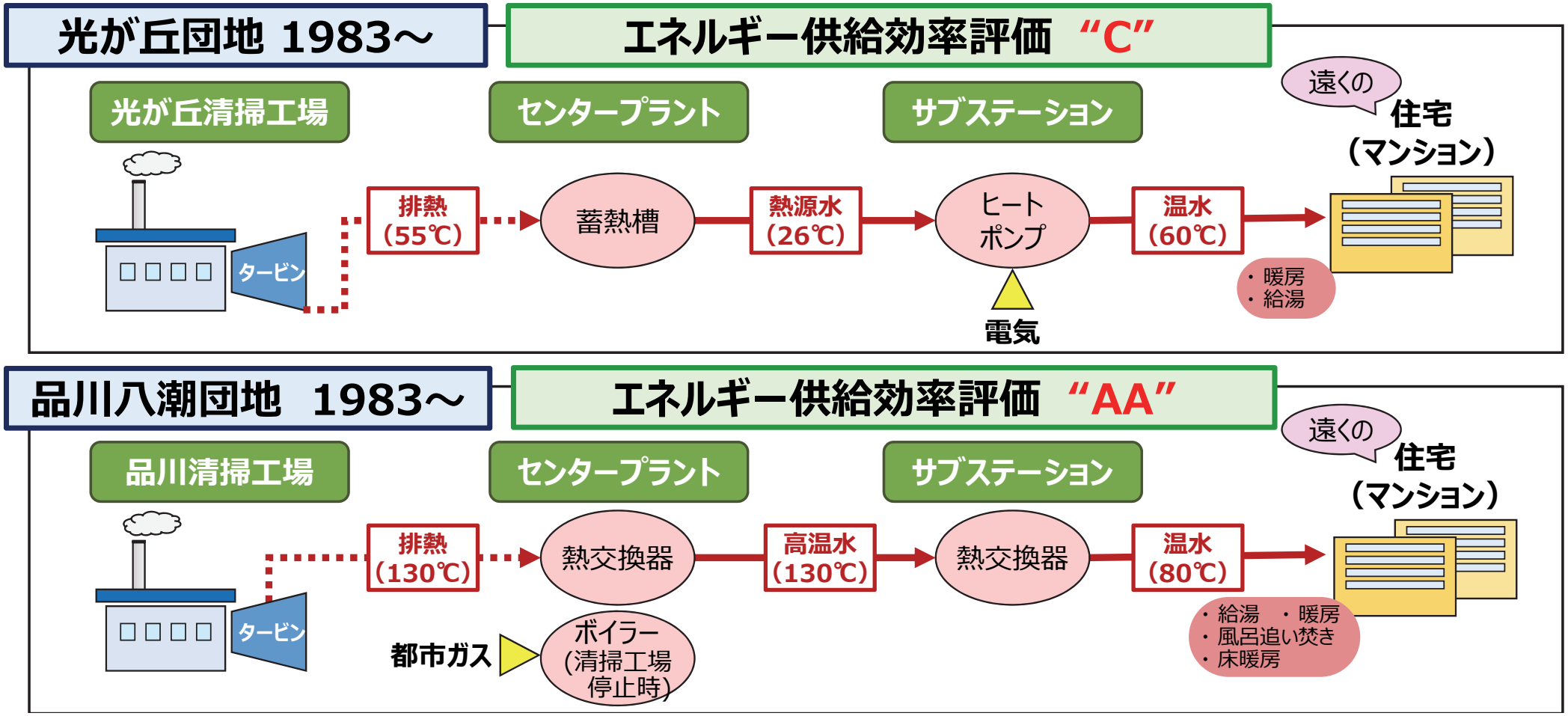
廿日市市、広島ガス、ふじみ衛生組合資料を参照した。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

国内での住宅系地域熱供給の先駆的事例：東京都の場合

③地域熱供給など

「さまざまな紆余曲折を経ながらも東京都は、光が丘団地、品川八潮団地両地区への地域冷暖房システム導入を東京ガスや東京電力など民間企業の協力を得ながら推進することになった。」「80年12月に東京電力が『複数棟ごとにサブステーションを設けた、ヒートポンプによる地域冷暖房システム』を東京都と日本住宅公団に提案したことを契機に、光が丘団地地区の地域冷暖房プロジェクトは再び動き出した。」（「30周年記念誌　地域冷暖房事業と東京熱供給の歩み」より抜粋・一部赤字化）



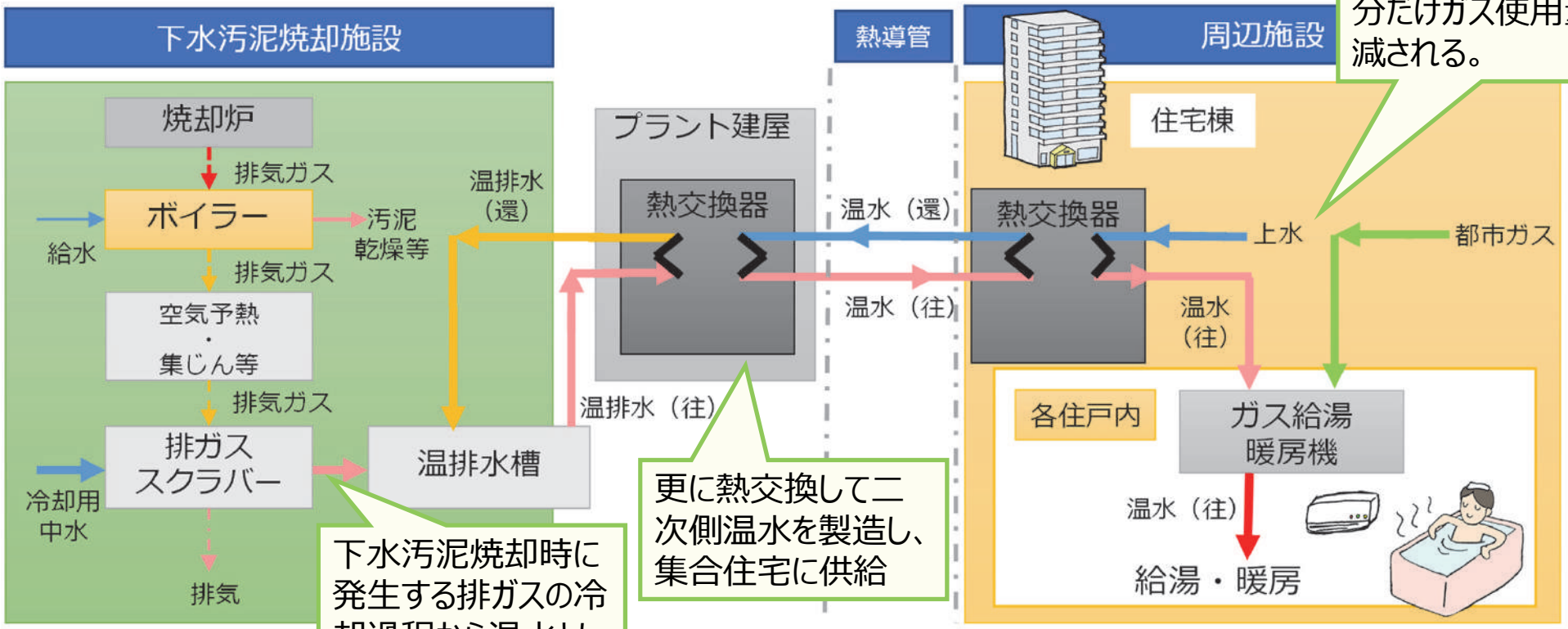
図：東京熱供給株式会社ホームページ等を参考にPCKK作成（エネルギー供給効率評価は東京都環境局公表の地域エネルギー供給実績報告書による）（2021.2月参照）

日本における住宅給湯余熱への排熱活用例

③地域熱供給など

六甲アイランドに立地する下水汚泥焼却施設（東部スラッジセンター）

【脱水汚泥 処理能力】600t/日(平成21年4月時点)　【配管距離】3,550m（総延長）



住宅棟内のガス給湯暖房機に導入される上水を事前に加温。その分だけガス使用量が低減される。

下水汚泥焼却時に発生する排ガスの冷却過程から温水として熱を回収

更に熱交換して二次側温水を製造し、集合住宅に供給

出典：「廃棄物エネルギー利活用方策の実務入門」（令和元年６月）P.4-4よりPCKK作成

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

バイオガスの都市ガス原料供給事例

①コンバインドシステムなど　②バイオガスを都市ガスへ

（事例）鹿児島市　新南部清掃工場

乾式メタン発酵（発生バイオガス量が多い）

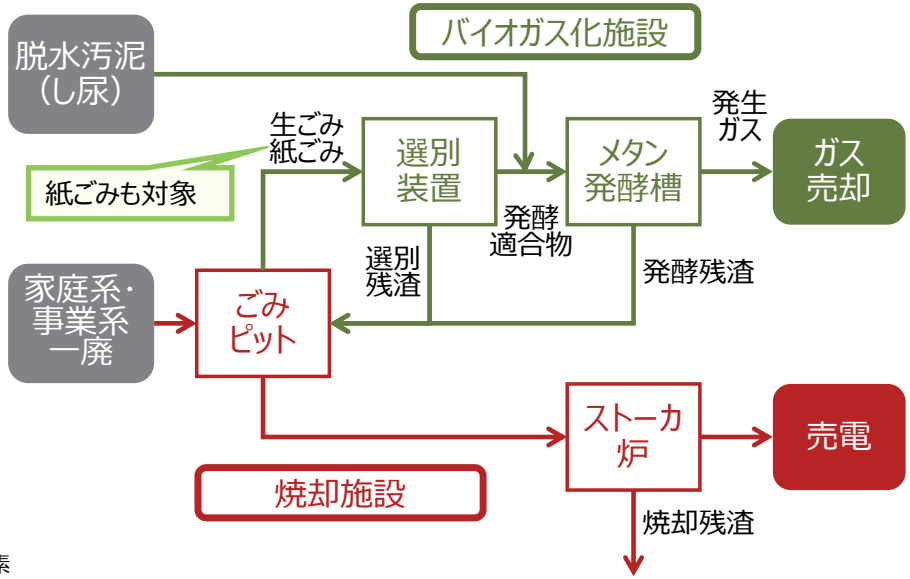
都市ガスへ供給を含む温室効果ガス排出量収支の試算例（ごみ焼却・メタン発酵一体型施設）

	新南部清掃工場	（参考）		南部清掃工場（H24年度実績）
	ガス精製	ガス発電	全量焼却	全量焼却
温室効果ガス排出量（t-CO_2／年）	7,461	8,896	11,434	17,571
発生量※1 計（t-CO_2／年）	20,413	20,387	21,806	23,979
削減量※2 計（t-CO_2／年）	-12,952	-11,491	-10,372	-6,408
焼却発電売却	-8,776	-9,188	-10,372	-6,408
ガス発電売却	—	-2,303	—	—
精製ガスの売却	-4,176	—	—	—
年間ごみ処理量（t／年）	64,247	64,247	64,247	68,681
ごみ1t あたりの温室効果ガス排出量（t-CO_2／t）	0.116	0.138	0.178	0.256
比率	45%	54%	70%	100%

※1　発生量には、燃料・電気の使用に伴うエネルギー起源の温室効果ガス発生量と、廃棄物燃焼に伴うCO_2、メタン、一酸化二窒素の温室効果ガス発生量を算定対象とする。

※2　削減量には、電気とガスの売却に伴う温室効果ガス削減量を算定対象とする。

表の出典：鹿児島市「新南部清掃工場（ごみ焼却施設・バイオガス施設）整備基本計画【概要版】」（平成27年３月）より引用



図の出典：https://www.env.go.jp/recycle/waste/biomass/data/manual_r.pdf よりPCKKにて再作成・加筆（吹き出し）

参考：鷲尾健郎（鹿児島市）「鹿児島市新南部清掃工場整備について」平成29年度中小廃棄物処理施設における廃棄物エネルギー回収方策等に係る説明会（九州地区）（2018年１月）

【バイオガス化、焼却等を含む技術を組合せた中間処理システムのコスト・エネルギー・CO2・最終処分量などを比較した研究例】
・中村 一夫「新処理技術を組み合わせたシステムの検討」廃棄物学会誌、9(7)、1998
・高岡 昌輝・増田 孝弘「循環型社会、低炭素社会に対応した都市ごみ中間処理方式」廃棄物資源循環学会誌、21(6)、2010

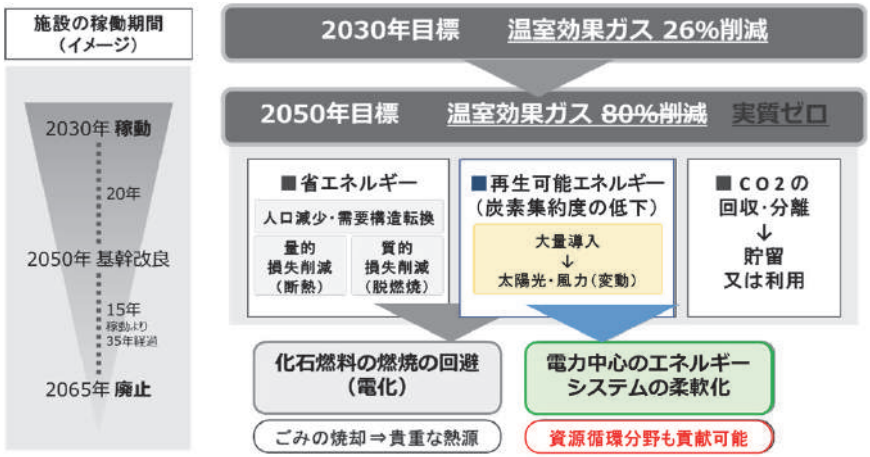
４．サブモデル間で共通的な視点・要素

- **再エネ大量導入社会との関係（柔軟性）**
- **二酸化炭素の回収・利用　／　炭素循環（プラスチック）**
- 防災力向上・強靭化

- 地域エネルギー会社の役割（可能性）
- ESG地域金融
- IoT・AI

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

再エネ大量導入社会との関係



●長期低炭素ビジョンより：
再生可能エネルギーが大量導入された社会における安定的な電力供給のため、需給調整・周波数調整に貢献する様々な技術（略）の研究開発が進められ、それが社会に大量に普及している。

再エネの大量導入（変動性・分散型） × **電力自由化（市場の活用）**

IoTの普及（実用・実践）

先行している欧州等で進んできている事態

英国のVPPプラットフォーム提供企業のデバイス
（写真　2019年８月　PCKK撮影）

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

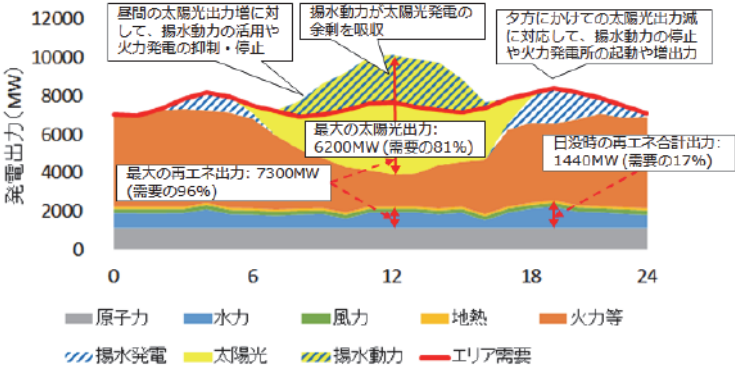
再エネ大量導入＋電力自由化で想定される変化と対応方策例

■ 燃料費ゼロの
変動性再エネの大量導入

■ 電力自由化の進展
不採算火力の休廃止（当面）

需要ピーク出現時間帯の変化

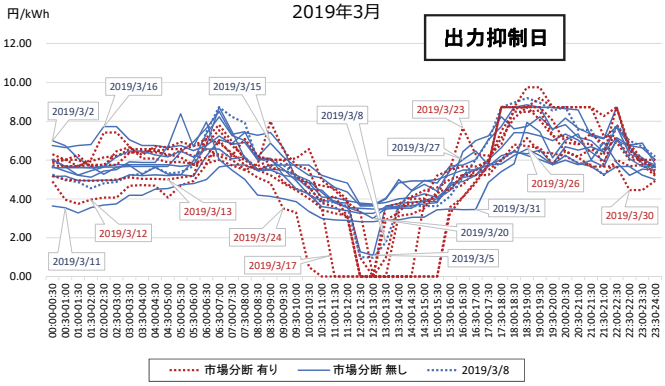
例）2018年5月3日の
九州地方の電気の需要と供給



出典：九州電力需給実績（2018年5月3日）よりPCKK作成

電力量(kWh)価格の平均的低下

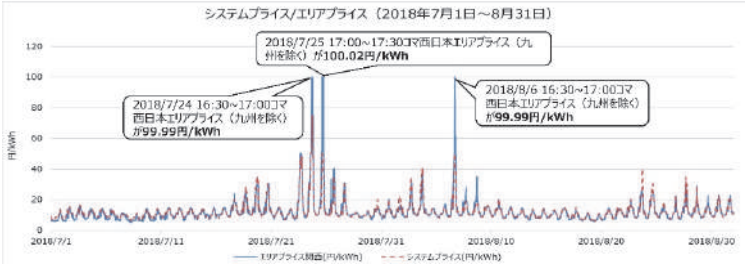
例）九州地方における太陽光出力抑制日の
卸売市場価格



出典：JEPXデータ等よりPCKK作成

電力卸売市場価格のスパイク

卸売市場における夏・冬の
高騰例（100円/kWh）



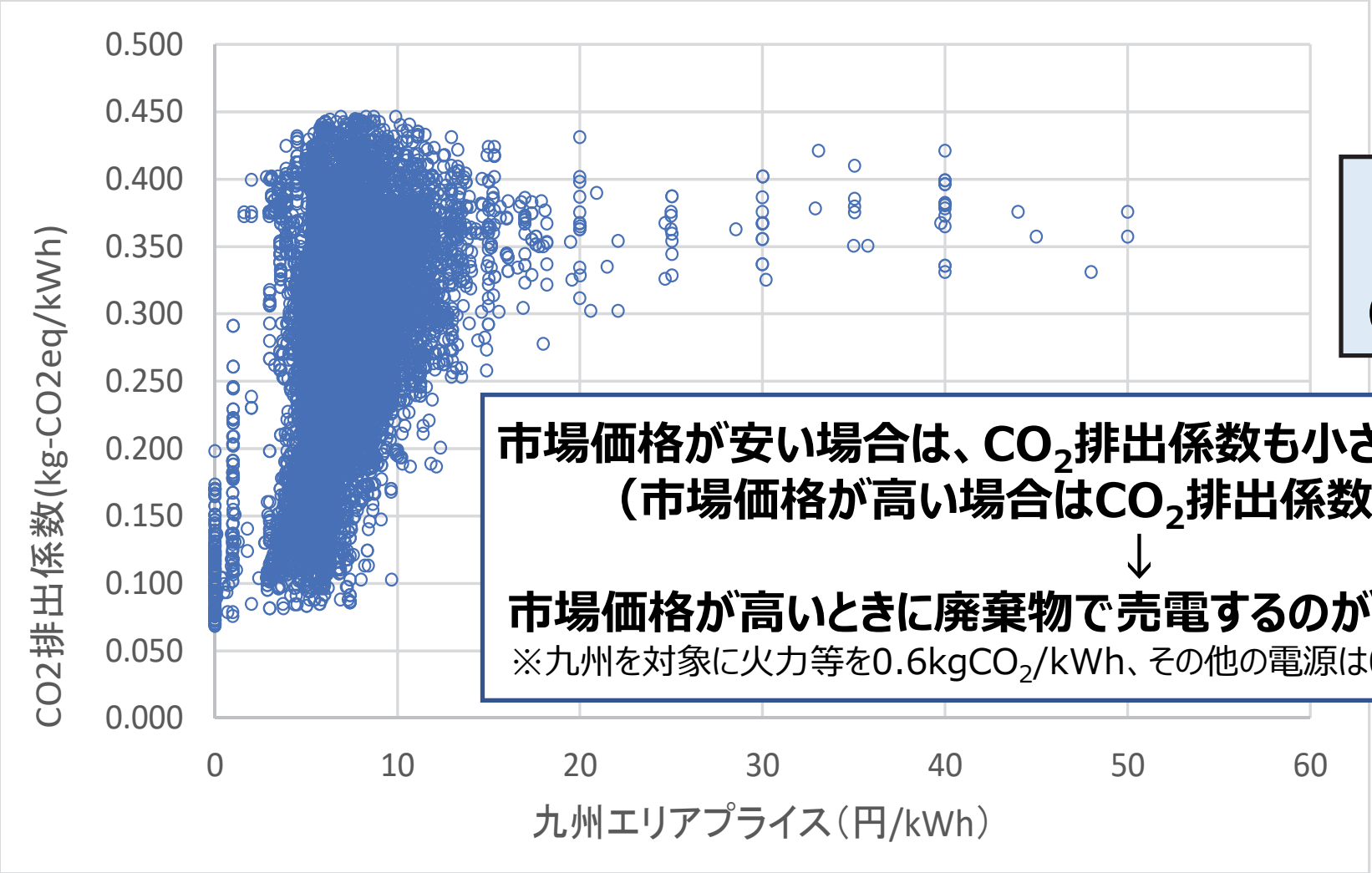
出典：電力・ガス取引監視等委員会　第36回 制度設計専門会合
（平成31年2月15日）

廃棄物発電の経済性を維持向上する可能性を確保するための対応方策例

①FIT売電（バイオマス分）	②非化石価値（非FIT分）	③送電の柔軟化（季節・時間）	④供給形態の柔軟化（熱電併給等）	⑤容量市場（非FIT分）	（⑥系統安定化に貢献）	⑦自営線供給

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

電力市場価格と毎時間CO_2排出係数（非常に粗い試算→あくまでイメージ）



基本

卸売市場のうち
一日前(前日)市場
（スポット市場ともいう）

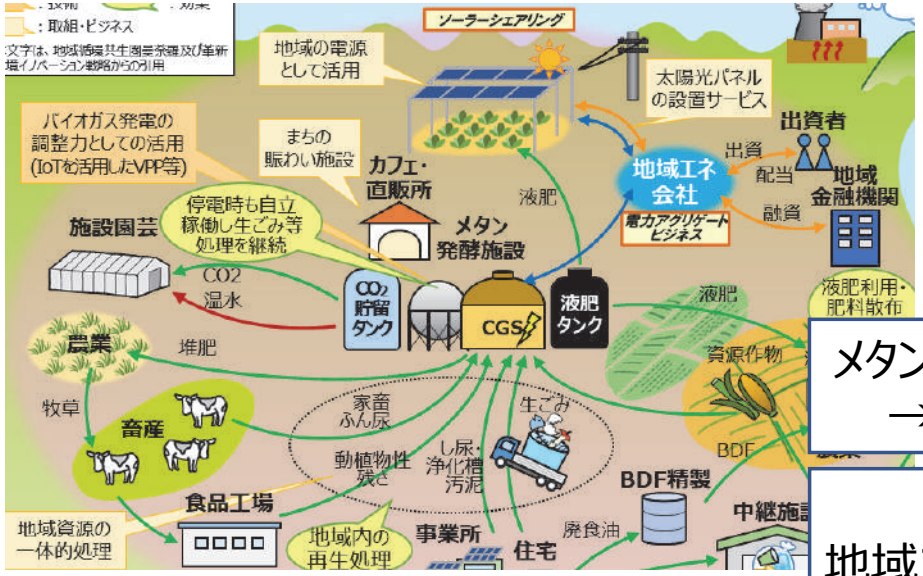
市場価格が安い場合は、CO_2排出係数も小さい場合が増える傾向
（市場価格が高い場合はCO_2排出係数は小さくない。）
↓
市場価格が高いときに廃棄物で売電するのが、低炭素にもよいこと
※九州を対象に火力等を0.6kgCO_2/kWh、その他の電源は0kgCO_2/kWhとした超概算

出典：令和元年度関連受託業務における検討会提出資料（PCKK）

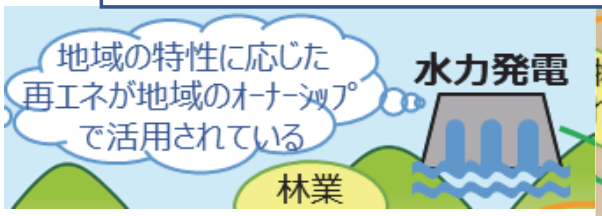
Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

分散型エネルギーリソースからの柔軟性供給の風景

応用

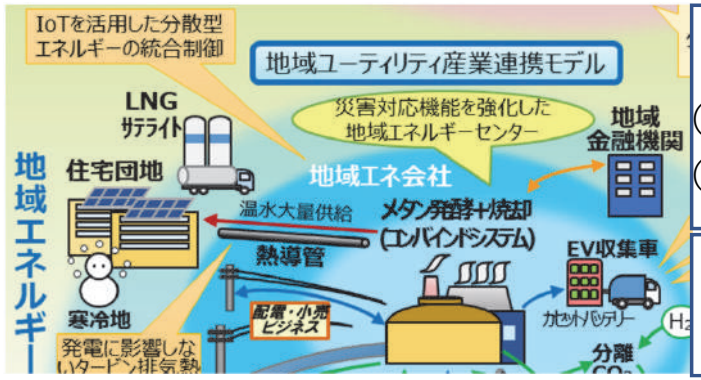


季節・時間に応じた送電量増大が可能？



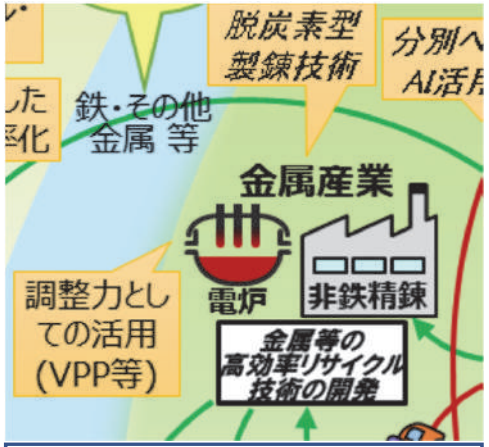
メタン発酵：バイオガス貯留
→柔軟な発電が可能

柔軟性資源取りまとめが
地域エネルギー会社の収入源となる可能性



バッテリーを車両から分離すれば
①交換だけで継続使用可能
②電力市場に応じ充放電可能

貯湯槽など蓄熱で
蓄電池の代わりになる



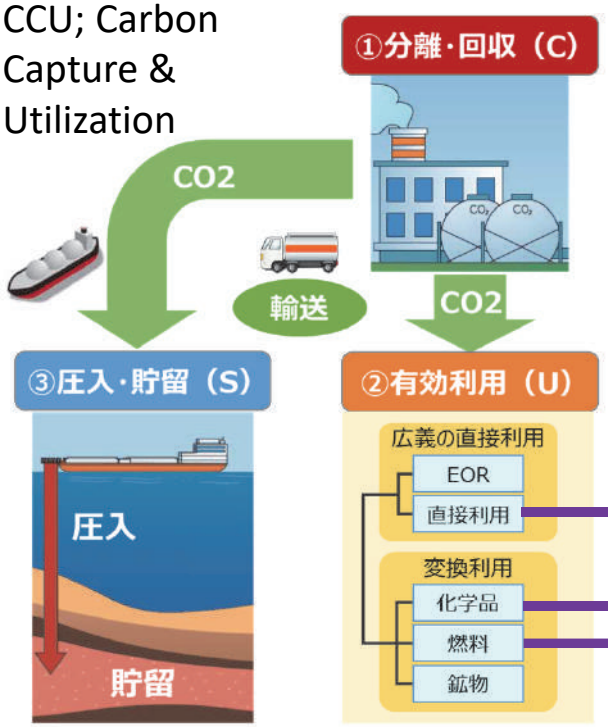
需要側も柔軟性を供給

【参考】いわゆる**需給調整市場**は、再エネ大量導入後、調整量・調整コストがむしろ低下する国も見られる
（例：ジャーマンパラドックス，スペイン：井伊ら(2019、エネルギー・資源学会)）。ここでの柔軟性は広義に御理解いただきたい。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

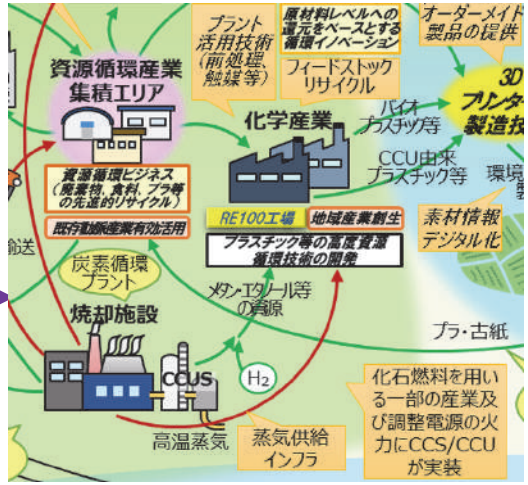
二酸化炭素の回収・利用　／　炭素循環

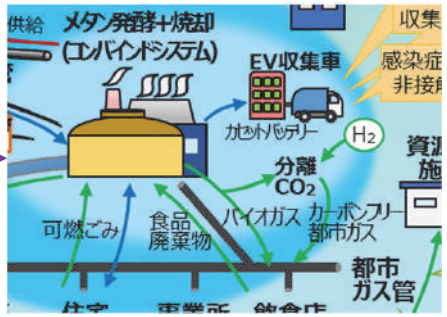
CCU; Carbon Capture & Utilization



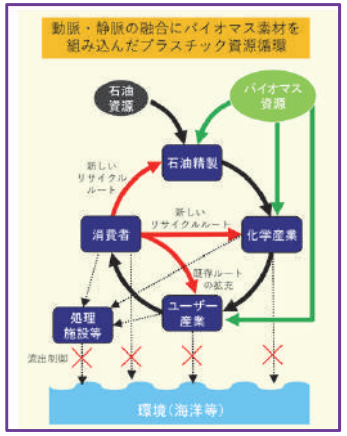
CCS（①＋③）　　CCU（①＋②）

出典「環境省CCUS事業の概要」（平成31年3月5日）などより作成

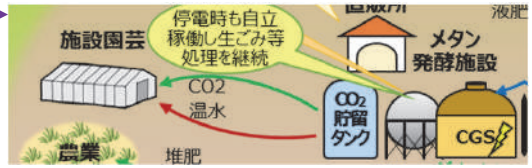




まず3R+Renewable



出典：環境研究総合推進費R3戦略的研究開発課題S-19概要（吉岡敏明「プラスチックの持続可能な資源循環と海洋流出制御に向けたシステム構築に関する総合的研究」）



○バイオガスの利用のため CH_4を分離するならば、CO_2も分離される。

○燃焼排ガスではない。
⇒夏場もハウス内温度上昇を招かない可能性

「カーボンフリー都市ガス」

○化石燃料CO2＋カーボンフリー水素⇒１回分排出減少
○バイオマス由来や大気中CO2⇒カーボンニュートラル
⇒廃棄物分野の意義（可能性）の一つ
○水素をそのまま使うことはできないか。

参考：令和２年度第１回シンポジウム（2020年８月）
前田 修二（佐賀市）「CCU事業（二酸化炭素分離回収利用事業）の導入効果と将来計画」
北村 英夫（東芝エネルギーシステム㈱）「さまざまな排出源からのCO2分離回収技術」
成相 健太郎（㈱IHI）「「脱CO2・循環型社会」に向けたIHIの取り組み～カーボンリサイクル技術の開発動向～」
吉岡 敏明「フィードストックリサイクルの現状と将来展望について」

５．実現に向けて

廃棄物の適正処理の確保だけを目指すのでは無理

立地地域に受容される施設

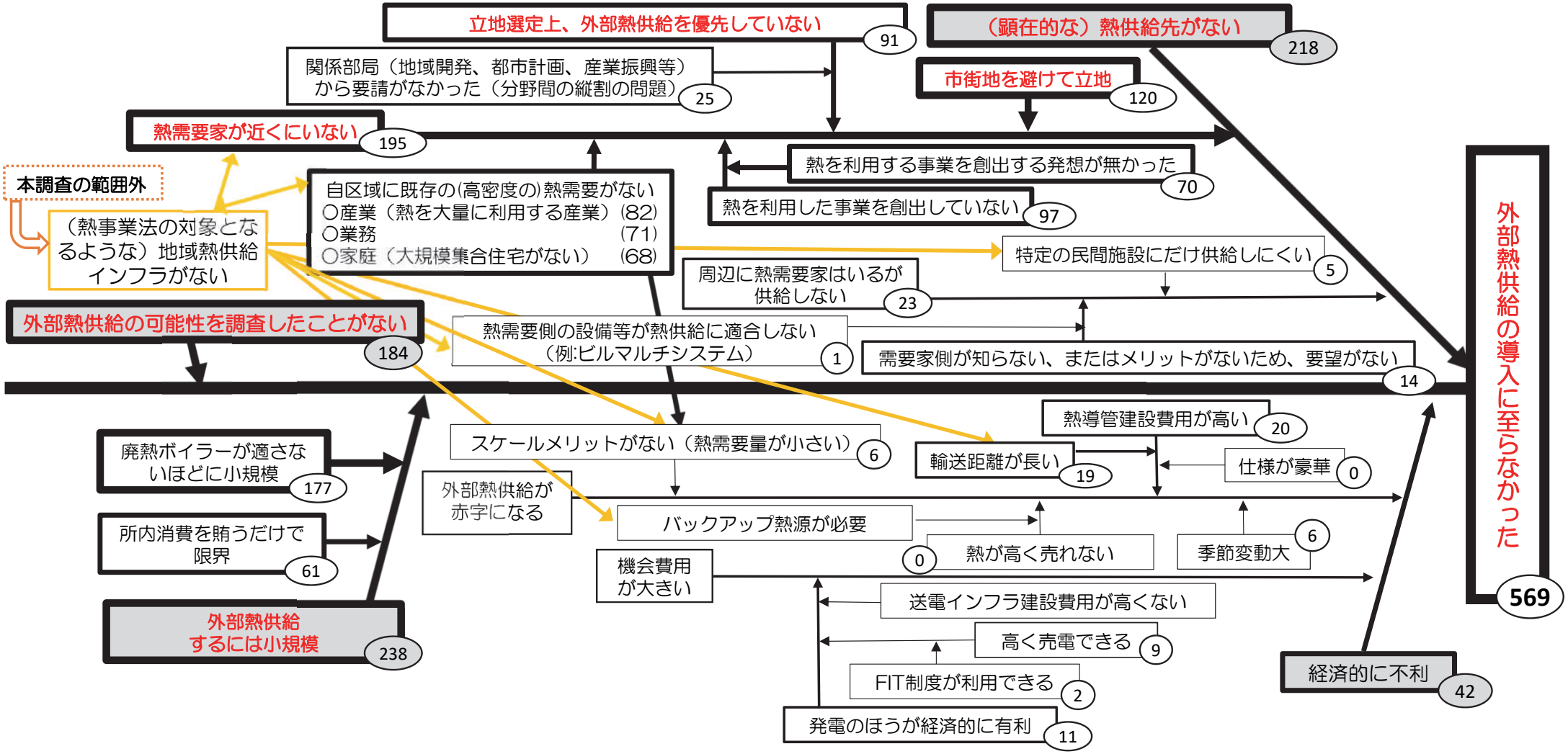
将来世代への説明責任

地域への多面的価値

脱炭素化	地域産業の存続	・・・

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

例：日本では、ごみ焼却施設からの熱供給がなぜ実現しないのか？



出典：環境省「平成27年度廃棄物発電の高度化支援事業委託業務報告書」

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

南筑後地域の関係者のお話より（取組の成立等のポイント）

- 地域課題を関係者（大学、民間事業者等を含む）と共有し、専門家と一緒に課題を解決する仕組みを構築。行政が孤立して取り組むのではなく、産官学で連携し住民と一緒に積み上げることで、施設が受け入れられやすく、分別などの協力が得られやすい。
- 建設後ではなく検討段階から住民に提案をしていくことで歓迎される施設になる。
  迷惑施設対策が労力・コストがかかるのに対し、歓迎される施設はコスト削減にもつながる。
- メタン発酵施設では、臭気対策も重要だが、例えばカフェなどを隣接することでまちの賑わい施設としての機能を果たすようになり、迷惑施設ではなくなる。
  それにより、町の真ん中や液肥の撒きやすい田んぼの中に整備でき、収集・運搬距離が短くなり、コストや温暖化対策の面でも有利となる。
- 実現には取組への熱意を持って進めることができる人が2～3名必要である。
  労力をかけないならば、お金をかけるしかない。
- 環境行政には首長、上役の想いも重要。新しい取組をする時に人を充てられるか。財政への貢献、温暖化対策への貢献、地域活性化、町への貢献、色々な目線で考えられるかどうかが重要。

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.

考えられる方向性（望まれる方向性）

需給マッチング（利活用先連携）

循環資源に応じた処理を適切な規模で

連携産業に関連の深い部局やまちづくりを担当部局などとの**庁内横断的連携が必須**ではないか。

用地選定段階や処理方式選定段階において、**資源・エネルギーの回収と地域産業との連携が重視される必要**。

立地する地域に便益をもたらす施設であることによって、積極的な誘致が行われる施設となることが理想的。

焼却施設等を保有する自治体では、**更新タイミングを捉えた処理システムの在り方の見直し**が有効。→長期的な視点が必要。

３Ｒが有利となる市町村のごみ処理施策が前提となる必要。
・事業系廃棄物の受入方針や料金設定、リサイクル事業に対する許可の考え方 など

循環資源の種類等に応じて**市町村境界を超えた統合管理や一体的処理も可能とする受け皿**が必要。（同時に市町村による適正処理体制の確保が必要）

広域化・集約化の取組とあいまった将来像の検討が必要。

地域循環共生圏の形成に向けた長期構想の必要性

基盤

政策・計画プロセス	人材・組織（官民学）	制度・仕組み	推進・運営主体

Copyright © Pacific Consultants Co., LTD.